

MÔ PHỎNG SỐ PHÂN BỐ CỦA DÒNG BỘT TẠI ĐẦU PHUN ĐỒNG TRỤC GIÁN ĐOẠN TRONG CÔNG NGHỆ BÔI ĐẮP KIM LOẠI TRỰC TIẾP BẰNG LASER

NUMMERICAL SIMULATION OF THE POWDER DISTRIBUTION IN THE COAXIAL NOZZLE AT THE INTERFAXIAL REGION OF DIRECT LASER METAL FORMING

Dương Văn Ngụy¹,
Trịnh Quang Hưng¹, Đoàn Tất Khoa^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.110>

TÓM TẮT

Bôi đắp kim loại trực tiếp bằng laser (DLMD) là công nghệ tạo hình những chi tiết bằng kim loại, hợp kim tiên tiến, có khả năng tạo hình các chi tiết phức tạp từ các vật liệu khó chế tạo bằng phương pháp gia công truyền thống. Trong quá trình tạo hình sự phân bố dòng bột tại đầu phun ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng lớp tạo hình. Trong nghiên cứu này, phương pháp mô phỏng số đã được sử dụng để nghiên cứu các đặc tính của miền dòng chảy từ bốn vòi phun đồng trục gián đoạn hình trụ. Kết quả mô phỏng cho thấy vận tốc dòng khí cực đại đã đạt được tại 22,1m/s trước khi ra khỏi vòi phun và duy trì trên 20m/s trong khoảng 4mm tiếp theo trong miền dòng chảy tự do tính từ miệng vòi phun. Vùng hội tụ của bốn vòi phun có đường kính xấp xỉ 3mm và vận tốc lớn nhất ở vùng hội tụ khoảng 13m/s. Kết quả mô phỏng phát hiện sự xuất hiện các dòng chảy ngược vào vùng trung tâm. Đáng chú ý, dòng bột từ bốn vòi phun hội tụ tại vùng tương ứng với giao điểm hình học của các vòi phun, quanh vùng 11,5mm tính từ miệng vòi phun, đường kính vết hội tụ xấp xỉ 2mm duy trì trên chiều dài khoảng 6mm. Điều này cho phép dung sai vị trí tương đối của vùng hội tụ laser và vùng hội tụ bột tương đối rộng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc chế tạo và hiệu chỉnh đầu phun.

Từ khóa: Bôi đắp kim loại trực tiếp bằng laser (DLMD); đầu phun đồng trục gián đoạn bốn vòi; mô phỏng số.

ABSTRACT

Direct Laser Metal Deposition (DLMD) is an advance technology for forming metal components from metal and super alloys, enabling the creation of intricate geometries that are difficult to achieve through traditional manufacturing methods. In the process, the distribution of powder flow at the nozzle has a crucial role in determining the quality of the deposited layer. To study the flow characteristics of the interfacial region, this research used numerical simulation to investigate four coaxial cylindrical nozzles. The simulation results revealed that the gas flow velocity reached a maximum of 22.1m/s before exiting the nozzle and remained above 20m/s for the following 4mm in the free-flow region from the nozzle orifice. The convergence zone of the four nozzles had a diameter of approximately 3mm, with the highest velocity of around 13m/s. The simulation also revealed the presence of reverse flow into the center of the flow field. Importantly, the powder from the four nozzles converged at the geometric intersection point of the nozzles, around 11.5mm from the nozzle orifice, with a convergence spot diameter of approximately 2mm maintained over a length of about 6mm. This enables the relative positioning of the laser and powder convergence zones, facilitating the design and adjustment of the nozzle.

Keywords: Direct Laser Metal Deposition (DLMD), four coaxial cylindrical nozzles, numerical simulation.

¹Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

*Email: khoadt@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/3/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 12/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 15/6/2023

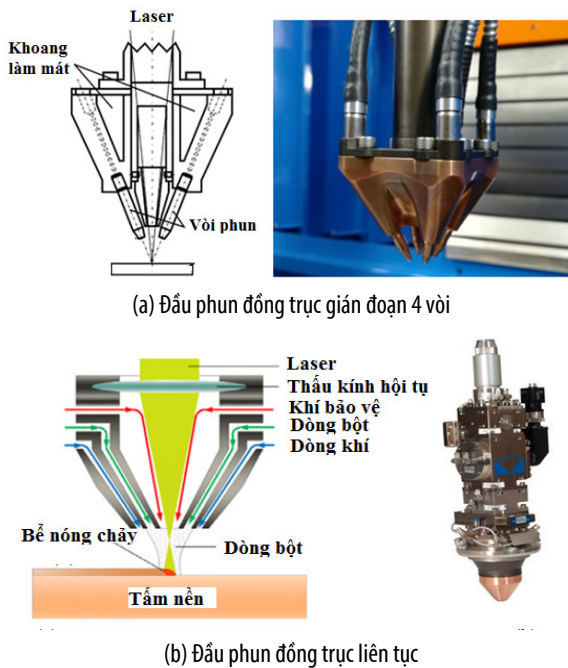
1. GIỚI THIỆU

Bôi đắp kim loại trực tiếp bằng laser (DLMD) là công nghệ sản xuất tạo hình quan trọng, đang được các nhà nghiên cứu quan tâm, phát triển. Ở Việt Nam những năm gần đây cũng đã xuất hiện một số nghiên cứu của các nhóm TS Lê Văn Thảo, TS Đoàn Tất Khoa [1, 2], TS Đỗ Xuân Tươi [3]. Các chi tiết được tạo hình theo từng lớp bằng cách

nung chảy vật liệu bột bằng chùm tia laser thông qua đầu phun trong hệ thống DLMD. Đầu phun có thể là loại đầu phun đồng trục hoặc không đồng trục. Trong đó đầu phun đồng trục (liên tục hoặc gián đoạn) được sử dụng phổ biến như hình 1 thể hiện. Do DLMD chủ yếu liên quan đến sự tương tác giữa chùm tia laser và dòng bột, nên việc nghiên cứu quá trình phun bột để nâng cao chất lượng chế tạo và

hiệu suất sử dụng vật liệu có ý nghĩa quan trọng [4, 5]. Đặc biệt, DLMD còn cho phép tạo ra các chi tiết có biên dạng hình học phức tạp từ nhiều loại kim loại với thời gian ngắn. So với công nghệ truyền thống, DLMD có hệ số sử dụng vật liệu cao hơn, chi tiết được tạo bởi công nghệ DLMD cần ít thời gian hơn cho gia công lần cuối. Năng suất của quá trình và chất lượng tạo hình phụ thuộc nhiều vào chất lượng và hình dạng của vòi phun [6, 7].

Đặc tính lưu lượng cấp bột và sự hội tụ của dòng bột bên trong và sau khi ra khỏi vòi phun luôn là vấn đề được chú trọng nghiên cứu. Hiện nay vẫn chưa có các phương pháp hiệu quả nào được công nhận để kiểm tra và giám sát dòng chảy bột, đặc biệt là dòng chảy bên trong vòi phun. Hầu hết các nghiên cứu áp dụng sự kết hợp của mô phỏng số và kiểm chứng thực nghiệm, điều này có lợi trong tiết kiệm chi phí thử nghiệm. Nghiên cứu này trình bày đặc tính dòng khí - bột trong đầu phun đồng trục gián đoạn sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn (FVM) trên phần mềm Ansys Fluent.



Hình 1. Hình ảnh kết cấu đầu phun đồng trục liên tục và đầu phun đồng trục gián đoạn 4 vòi

2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH

2.1. Mô hình toán học dòng khí - bột

2.1.1. Các phương trình toán học dòng khí

Quá trình mô phỏng dòng khí hay pha liên tục được dựa trên phương trình Navier - Stokes với phương pháp Reynolds tính trung bình các phương trình phụ thuộc thời gian [8]. Các phương trình điều chỉnh trung bình theo thời gian cho dòng chảy rối được biểu thị bằng:

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

Trong đó: ρ là mật độ dòng khí và u_i là vec tơ vận tốc thứ i .

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \tag{2}$$

Trong đó: p là áp suất, g_i là gia tốc trọng trường; τ_{ij} là tensor ứng suất nhớt.

τ_{ij} được xác định bởi công thức:

$$\tau_{ij} = \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right] \tag{3}$$

Trong đó: μ là độ nhớt phân tử và $\delta_{ij} = 1$ đối với $i = j$, ngược lại $\delta_{ij} = 0$ và μ_t là độ nhớt rối được xác định bởi:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \tag{4}$$

Trong đó, C_μ là hằng số và thường được lấy bằng 0,09; k là động năng rối và ϵ là sự tiêu tán của động năng rối, được định nghĩa trong mô hình chảy rối $k - \epsilon$. Trong mô hình này, hai phương trình được thêm vào là phương trình bảo toàn động năng rối và phương trình bảo toàn động năng tiêu tán rối.

Phương trình bảo toàn động năng rối:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i k) = \frac{\partial p}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \tag{5}$$

Phương trình bảo toàn tiêu tan rối:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial p}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \tag{6}$$

Trong đó:

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \tag{7}$$

$$G_b = -g_i \frac{\mu_t}{\rho Pr_t} \frac{\partial p}{\partial x_i} \tag{8}$$

Với $C_{1\epsilon} = 1,44$; $C_{2\epsilon} = 1,92$; $\sigma_k = 1,0$ và $\sigma_\epsilon = 1,3$ là các hằng số thực nghiệm, Pr_t là số Prandtl rối, G_k là tốc độ sản sinh động năng rối do gradient vận tốc trung bình; G_b là tốc độ sản sinh động năng rối do lực nổi.

2.1.2. Các phương trình toán học mô tả dòng bột

Dòng chảy bột được xem là pha rời rạc chuyển động cùng với pha khí là pha liên tục. Phương trình mô tả quỹ đạo của mỗi hạt bột được mô tả trong hệ quy chiếu Lagrangian dựa trên sự cân bằng lực [9]:

$$\frac{d\vec{u}_p}{dt} = F_D(\vec{u} - \vec{u}_p) + \frac{\vec{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \vec{F} \tag{9}$$

Trong đó: \vec{F} là phản lực của bột trong chất khí mang và có giá trị rất nhỏ trong quá trình tính toán [10]; \vec{u}_p là vận tốc của hạt; \vec{u} là vận tốc của dòng khí; ρ là mật độ chất khí; ρ_p là

khối lượng riêng của hạt; $F_D (\bar{u} - \bar{u}_p)$ là lực cản trên một đơn vị khối lượng. F_D có thể được tính bằng công thức (10):

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D R_e}{24} \quad (10)$$

d_p là đường kính hạt

R_e là số Reynolds tương đối, được định nghĩa như sau:

$$R_e = \frac{\rho d_p |\bar{u} - \bar{u}_p|}{\mu} \quad (11)$$

C_D là hệ số cản được tính bằng công thức (8) [11], được định nghĩa là:

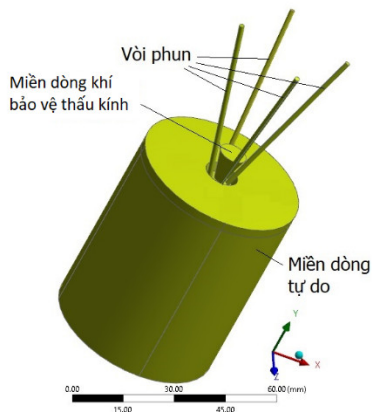
$$C_D = 0,46 - \frac{490,546}{R_e} + \frac{578700}{R_e^2} \quad (12)$$

2.2. Mô hình miền dòng chảy

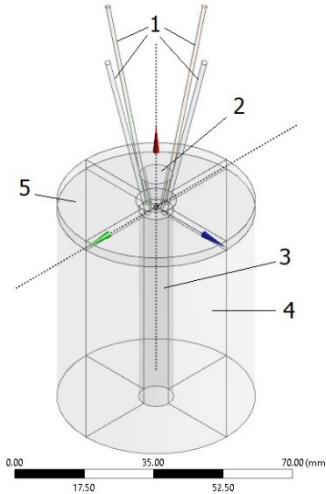
2.2.1. Mô hình hình học miền dòng chảy

Mô hình hình học miền dòng chảy chính là phần không gian chảy bên trong đầu phun đồng trục gián đoạn và phần không gian bên ngoài đầu phun mà dòng khí-bột chảy vào khi ra khỏi đầu phun hay còn gọi là miền dòng chảy tự do. Đầu phun mô phỏng là đầu phun gồm 4 vòi phun dạng ống trụ có đường kính trong 1,5mm và chiều dài 55mm phân bố đều quanh trục đầu phun với góc nghiêng 75° so với phương ngang, như thể hiện trong hình 2.

Miền dòng chảy tự do bên ngoài đầu phun có dạng hình trụ với kích thước tương đối lớn so với kích thước vòi phun nhằm thu được những đặc điểm quan trọng của dòng chảy khí bột như vị trí hội tụ dòng bột, phân bố vận tốc và áp suất dòng khí thông qua mô phỏng CFD. Các kích thước của miền dòng chảy tự do bao gồm đường kính và chiều dài lần lượt là 14,2mm và 20mm đủ lớn để thu được quỹ đạo của hạt, trong nghiên cứu lựa chọn miền dòng chảy tự do có đường kính 50mm, chiều cao 60mm. Ngoài ra, miền dòng chảy trung tâm cho dòng khí bảo vệ thấu kính cũng được tính đến với hình dạng là một hình nón cụt tạo ra bởi lỗ côn của chi tiết côn trong của đầu phun. Toàn bộ miền dòng chảy tạo thành một chi tiết duy nhất và được xây dựng trên mô đun DesignModeler của Ansys Fluent.



(a) Ảnh mô hình hình học miền dòng chảy khí bột

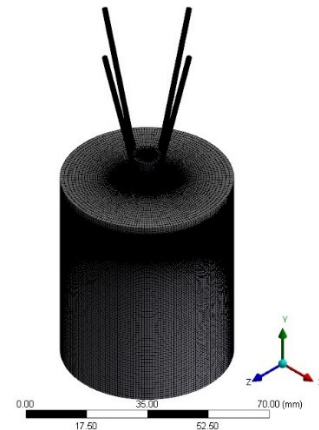


(b) Chia miền dòng chảy thành các miền cơ bản

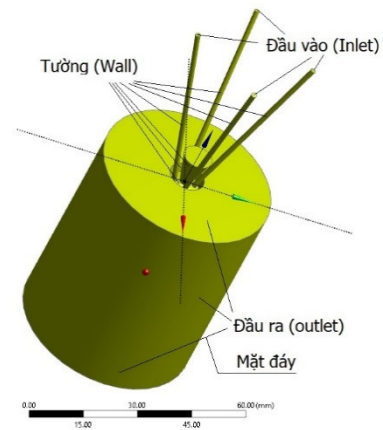
Hình 2. Mô hình mô phỏng đầu phun đồng trục gián đoạn 4 vòi

2.2.2. Chia lưới mô hình

Để giải bài toán CFD theo phương pháp thể tích hữu hạn (Finite Volume Method - FVM), mô hình hình học miền dòng chảy trong hình 1 cần được chia thành các miền tứ diện, hình hộp hay lăng trụ có kích thước nhỏ đóng vai trò là các phần tử thể tích. Quá trình này được gọi là quá trình chia lưới mô hình.



Hình 3. Mô hình toàn miền dòng chảy sau khi chia lưới



Hình 4. Xác lập điều kiện biên tại các bề mặt của miền dòng chảy

Mô hình miền dòng chảy trong nghiên cứu này được chia thành 5 phần. Như thể hiện trong hình 2, phần thứ nhất (1) bao gồm bốn vòi phun, phần thứ hai (2) là miền hình nón của dòng chảy trung tâm, miền thứ ba (3) là miền hình trụ trung tâm trong miền dòng tự do bên dưới phần thứ hai, miền thứ tư (4) là miền trụ bao quanh miền (3) và miền thứ năm (5) là phần hình trụ còn lại của miền dòng chảy tự do.

Mô hình miền dòng chảy được chia lưới theo thứ tự từ 1 đến 5 thông qua mô đun Mesh trong Ansys Fluent, như thể hiện trong hình 3. Có thể nhận thấy mô hình được chia lưới với mật độ khác nhau tại các vùng khác nhau. Cụ thể, miền dòng chảy tương ứng với các vòi phun và vùng trung tâm là những vùng quan trọng, nơi xảy ra các quá trình vật lý quyết định đến đặc tính của đầu phun và do đó có mật độ chia lưới cao. Lưới được chia có tổng số 2.500.000 phần tử với kích thước lưới tại các vòi phun và vùng trung tâm cỡ 0,1mm. Miền thứ ba (3), miền thứ tư (4) và miền thứ năm (5) kích thước phần tử lưới theo giá trị độ trục giao và độ lệch của lưới mô hình trong hình 3. Giá trị độ trục giao trong khoảng từ 0,407 đến 0,969mm thuộc dải Good đến Excellent của bảng 1.

Bảng 1. Bảng xếp hạng giá trị các thông số chất lượng phần tử lưới [11]

Chất lượng phần tử					
Tối ưu	Rất tốt	Tốt	Trung bình	Kém	Không đạt
Giá trị độ lệch					
0-0,25	0,25-0,50	0,50-0,80	0,80-0,94	0,95-0,97	0,98-1,00
Giá trị trục giao					
0,95-1	0,70-0,95	0,20-0,69	0,15-0,20	0,001-0,14	0-0,001

2.3. Mô hình dòng chảy và điều kiện biên

2.3.1. Mô hình dòng chảy khí - bột

Với đặc điểm dòng khí sau khi ra khỏi vòi phun thường là dòng chảy rối, mô hình dòng chảy khí được lựa chọn là mô hình chảy rối Realizable k-ε Model.

Chất khí trong bài toán mô phỏng là argon, khí được sử dụng phổ biến trong gia công DLMD và được xem là khí lý tưởng với mật độ 1,6228kg/m³ và độ nhớt 2,125.e⁻⁵kg/m.s. Do toàn bộ vùng gia công được đặt trong buồng kín đã loại bỏ không khí trước khi gia công, quá trình mô phỏng không tính đến sự tương tác của argon với môi trường không khí xung quanh.

Chuyển động của các hạt bột chịu ảnh hưởng của dòng khí và trọng lực. Mô hình tính toán cũng tính đến ảnh hưởng của bột đến dòng khí. Do lưu lượng bột trong quá trình gia công DLMD thường tương đối thấp (10g/ph trong nghiên cứu này) nên tương tác giữa các hạt bột là không thường xuyên và được bỏ qua. Các hạt bột được giả thiết có hình cầu và phân bố đường kính là phân bố Rosin-Rammler với 10 giá trị đường kính trong khoảng từ 0,065 đến 0,085mm và đường kính trung bình tại giá trị 0,075mm. Các hạt bột có khối lượng riêng 7500kg/m³ và chuyển động với vận tốc 18,87m/s tại đầu vào (Inlet) và

vuông góc với mặt đầu vào. Giá trị vận tốc này bằng với tốc độ dòng khí tại đầu vào tương ứng với lưu lượng khí 8l/ph.

2.3.2. Điều kiện biên

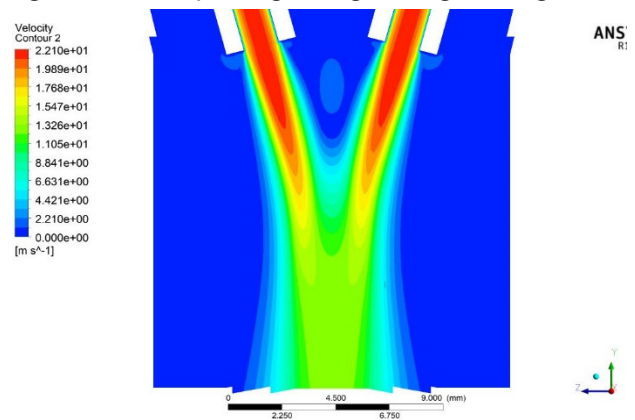
Đầu vào của mô hình là các mặt giới hạn trên của các vòi phun với định nghĩa là đầu vào vận tốc, nơi vận tốc khí có giá trị 18,87m/s, tương ứng với lưu lượng 8 l/ph. Đầu ra là các mặt trên, đáy và xung quanh của hình trụ miền dòng chảy tự do, với giá trị áp suất tương đối bằng 0 so với áp suất khí quyển. Bề mặt trụ của các vòi phun và mặt côn ngoài và trong của các chi tiết côn đầu phun được định nghĩa là tường cố định (Non-slip Wall) như thể hiện trong hình 4.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

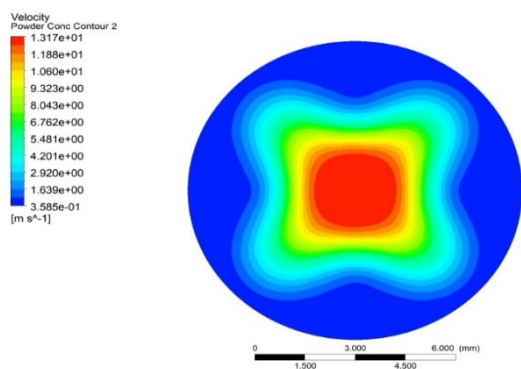
3.1. Vận tốc và áp suất dòng khí

Một trong các thông số đặc trưng của dòng chảy là vận tốc dòng khí. Hình 5 là hình ảnh biểu đồ vận tốc dòng khí khi ra khỏi vòi phun trên mặt phẳng YZ. Có thể nhận thấy dòng khí đạt tốc độ cực đại 22,1m/s trước khi ra khỏi vòi phun và duy trì trên 20m/s trong khoảng 4mm trong miền chảy tự do tính từ miệng phun. Các dòng khí từ 4 vòi phun sau đó giảm dần tốc độ và hợp nhất thành một ở khoảng cách khoảng 11mm từ miệng phun.

Hình 6 là hình ảnh vận tốc dòng khí trên mặt phẳng ngang cách miệng phun 11,5mm. Sự hợp nhất của 4 dòng khí tạo ra dòng chảy với vùng lõi có vận tốc lớn nhất khoảng 13m/s và đường kính khoảng 3mm. Vận tốc dòng khí giảm dần theo phương hướng kính ngoài vùng lõi.

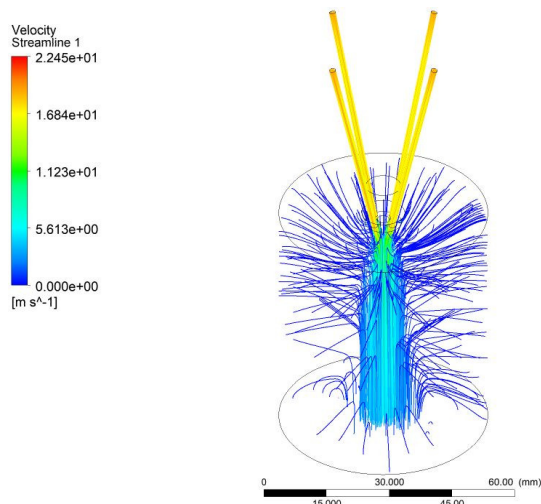


Hình 5. Vận tốc dòng khí khi ra khỏi vòi phun trên mặt phẳng YZ

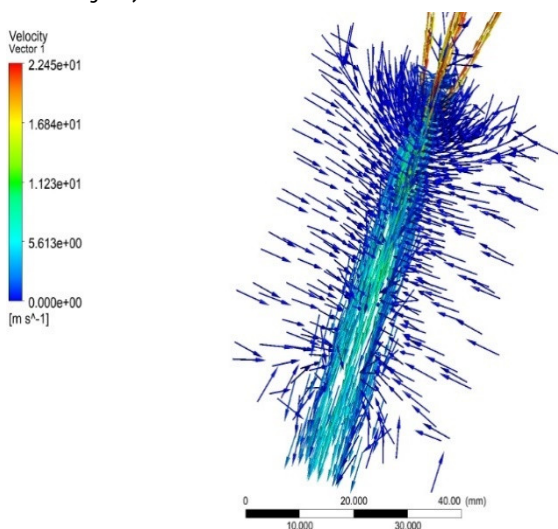


Hình 6. Vận tốc dòng khí trên mặt phẳng ngang cách miệng phun 11,5mm

Hình 7 là dòng chảy (streamline) trên toàn miền khảo sát với màu thể hiện tốc độ dòng chảy. Ngoài sự hợp nhất của 4 dòng chảy như được quan sát trong hình 5 và 6, xuất hiện các dòng chảy ngược (reversed flow) từ các mặt đầu ra outlet vào vùng trung tâm, tuy nhiên với vận tốc tương đối thấp so với 4 dòng khí đầu vào. Điều này được khẳng định trong hình 7 và 8 với các véc tơ vận tốc khí hướng từ các mặt outlet vào trung tâm dòng chảy. Dòng chảy ngược thậm chí xuất hiện từ mặt đáy của mô hình miền dòng chảy, ngược với dòng chảy chính từ các vòi phun.

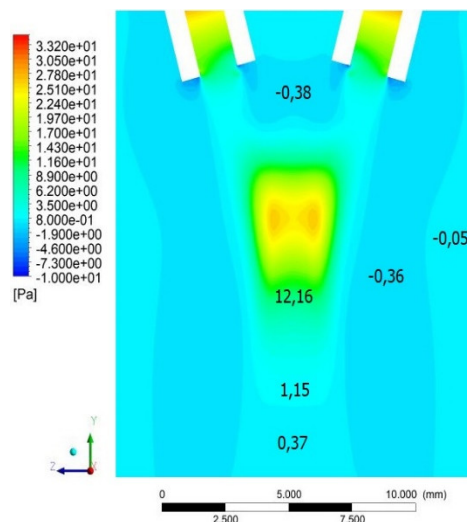


Hình 7. Dòng chảy khí trên toàn miền khảo sát



Hình 8. Véc tơ vận tốc khí

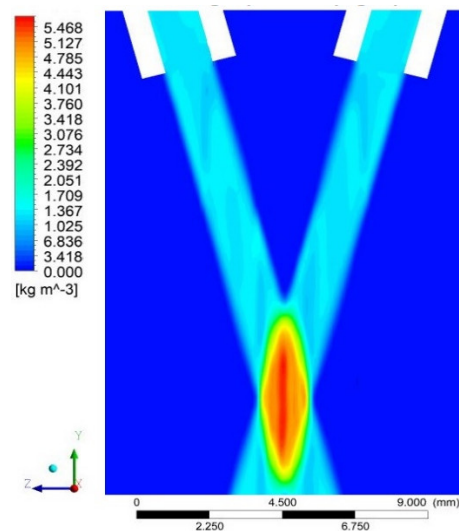
Để hiểu rõ hơn về sự phát sinh các dòng chảy ngược, sự phân bố áp suất dòng chảy được nghiên cứu và thể hiện trong hình 9. Trong miền dòng chảy tự do, áp suất lớn nhất quan sát được tại vùng hội tụ của 4 dòng khí từ các vòi phun. Tuy nhiên, bao quanh vùng hội tụ và hợp nhất của các dòng khí chính là vùng áp suất âm (0,36Pa thấp hơn áp suất khí quyển - áp suất đặt tại các mặt đầu ra). Vùng áp suất âm tạo ra do hiệu ứng của dòng khí chính là nguyên nhân dẫn đến sự hình thành các dòng chảy ngược từ các mặt outlet vào trung tâm.



Hình 9. Áp suất dòng chảy trên mặt phẳng YZ

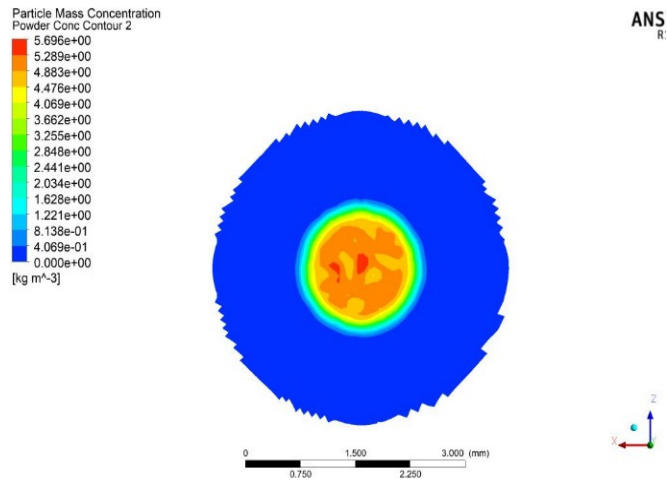
3.2. Các đặc tính dòng bột

Các thông số chính của dòng bột có ảnh hưởng đến quá trình gia công DLMD bao gồm nồng độ bột, kích thước và vị trí vùng hội tụ. Về cơ bản nồng độ bột càng lớn và kích thước vùng hội tụ càng nhỏ thì hiệu suất sử dụng bột vật liệu càng cao, trong khi vị trí vùng hội tụ ảnh hưởng đến việc điều chỉnh khoảng của đầu phun đến bề mặt bồi đắp. Nếu khoảng cách này quá nhỏ có thể dẫn tới sự quá nhiệt cho đầu phun do quá trình hấp thụ nhiệt từ bề nóng chảy.



Hình 10. Nồng độ khối lượng bột trong mặt phẳng YZ

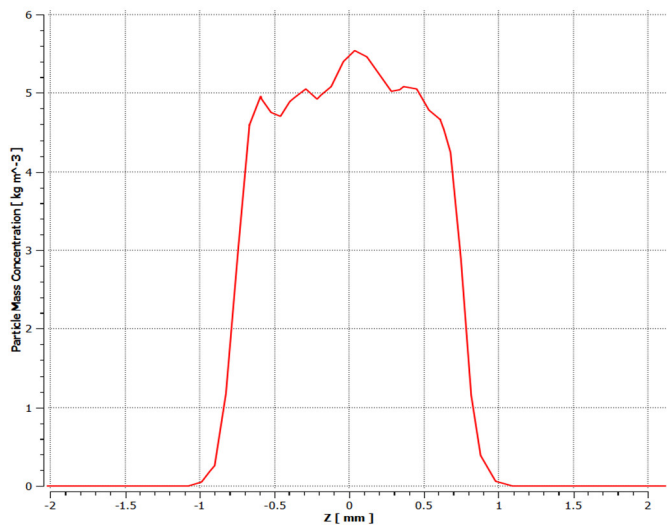
Hình 10 thể hiện nồng độ bột trong mặt phẳng YZ với tốc độ cấp bột đầu vào 10g/ph. Do giả thiết vận tốc bột ban đầu vuông góc với mặt phẳng inlet, các hạt bột chuyển động theo quỹ đạo thẳng và hội tụ tại vùng tương ứng với giao điểm hình học của các vòi phun, quanh vị trí 11,5mm từ miệng phun. Trước vùng hội tụ, nồng độ bột hầu như không thay đổi. Khi bắt đầu vào vùng hội tụ, nồng độ bột tăng đột ngột và đạt giá trị lớn nhất tại trung tâm vùng hội tụ với giá trị xấp xỉ 5,5kg/m³.



Hình 11. Nồng độ khối lượng bột trong mặt phẳng XZ

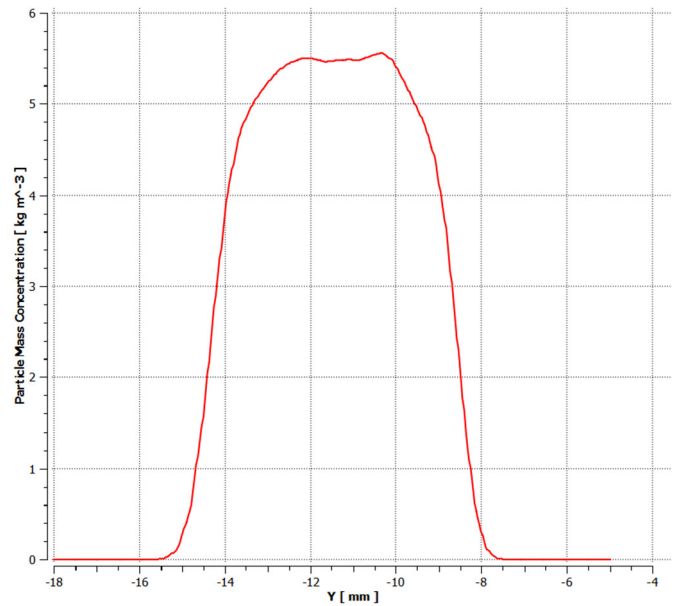
Hình 11 là phân bố nồng độ bột trong mặt cắt ngang tại vị trí trung tâm của vùng hội tụ (11,5mm từ miệng phun). Vùng hội tụ có biên dạng tròn với nồng độ bột lớn nhất tại trung tâm và giảm dần theo phương hướng kính.

Để làm rõ hơn đặc điểm của vùng hội tụ, đồ thị phân bố nồng độ bột trên đường song song với trục Z tại tâm vùng hội tụ và trên trục Y được trích xuất và thể hiện trong hình 12 và 13.



Hình 12. Nồng độ bột dọc theo đường song song với trục Z tại trung tâm vùng hội tụ

Từ hình 12 có thể nhận thấy đường kính vết hội tụ xấp xỉ 2mm và trong vùng này nồng độ bột phân bố gần với phân bố chuẩn Gauss. Phân bố này phù hợp với phân bố năng lượng của chùm tia laser, hay nói cách khác, nơi có nồng độ bột cao hơn thì năng lượng cung cấp nhiều hơn, là điều kiện để quá trình hấp thụ năng lượng xảy ra đồng đều và có hiệu quả. Phân bố nồng độ bột dọc trục trong hình 13 cho thấy chiều dài vùng hội tụ tương đối lớn, vào khoảng 6 mm. Điều này cho phép dung sai vị trí tương đối của vùng hội tụ laser và vùng hội tụ bột tương đối rộng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc chế tạo và hiệu chỉnh đầu phun.



Hình 13. Nồng độ bột dọc theo trục Y

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã sử dụng phương pháp mô phỏng số để xác định các đặc trưng của dòng chảy khí-bột của đầu phun đồng trục gián đoạn trong công nghệ DLMD. Kết quả mô phỏng cho thấy:

1) Dòng bột hội tụ đạt được ở khoảng cách 11,5mm tính từ miệng phun khi góc nghiêng của vòi phun là 75° so với phương ngang. Kích thước đường kính vùng hội tụ xấp xỉ 2,0mm với chiều dài hội tụ vào khoảng 6,0mm.

2) Vùng hội tụ có phân bố Gauss, phù hợp với phân bố năng lượng của chùm tia laser với nồng độ lớn nhất xấp xỉ 5,5kg/m³.

3) Kết quả mô phỏng thu được cho phép chế tạo đầu phun đồng trục gián đoạn 4 vòi sử dụng cho thiết bị DLMD, xác định khoảng điều chỉnh vùng hội tụ của chùm tia laser cách bề mặt đầu phun là 11 ± 3mm, vì trong quá trình tạo hình chùm tia laser phải hội tụ trong vùng hội tụ của dòng bột, khi đó mới đạt hiệu quả thiêu kết bột vật liệu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài mã số KC4.0-15/19-25 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp Quốc gia giai đoạn đến năm 2025 “Hỗ trợ nghiên cứu, phát triển và ứng dụng công nghệ của của công nghiệp 4.0”, Mã số: KC-4.0/19-25.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Van Thao Le, et al, 2021. *Wire and arc additive manufacturing of 308L stainless steel components: Optimization of processing parameters and material properties*. Engineering Science and Technology, an International Journal, 24, pp1015-1026.

[2]. Le Van Thao, Hoang Quang Huy, Tran Van Chau, Mai Dinh Si, Dinh Duc Manh, Doan Tat Khoa, 2020. *Effect of weding current on the shape and microstructure evolution of thin-walled low-carbon parts built by wire arc additive manufacturing*. Vietnam Journal of Science and Technology 58 (4) 461-472

[3]. Xuan Tuoi Do, et al, 2013. *Investigation on multi-track multi-layer epitaxial growth of columnar crystal in direct laser forming*. Journal of Laser applications, 25(1).

[4]. Cortina M, Icaqi J A, Exequiel J R, Lamikiz A, 2018. *Design and Manufacturing of a Protective Nozzle for Highly Reactive Materials Processing via Laser Material Deposition*. Procedia CIRP vol 68, pp 387-392.

[5]. Lin J, Steen W M, 1998. *Design characteristics and development of a nozzle for coaxial laser cladding*. Journal of Laser Applications. pp 10, 55.

[6]. Turichin G, Zemlyakov E, Babkin K, Ivanov S, Vildanov A, 2018. *Proc Analysis of distortion during laser metal deposition of large parts*. CIRP, 74, 154–157

[7]. Turichin G, Zemlyakov E, Babkin K, Ivanov S, Vildanov A, 2018. *Analysis of distortion during laser metal deposition of large parts*. Procedia CIRP, 74:15. DOI:10.1016/j.procir.2018.08.068

[8]. Turichin G, Zemlyakov E, Klimova O, Babkin K., 2016. *Hydrodynamic instability in high-speed direct laser deposition for additive manufacturing*. Physics Procedia, 1,83:674-83.DOI: 10.1016/j.phpro.2016.09.001

[9]. Liu Hao, he XiuLi, Yu Gang, Wang ZhongBin, Li ShaoXia, Zheng CaiYun, Ning WeiJian, 2015. *Numerical simulation of powder transport behavior in laser cladding with coaxial powder feeding*. Sci. China Phys. Mech. Astron, Vol. 58 No. 10: 104701 doi: 10.1007/s11433-015-5705-4.

[10]. L. Li, Y. Huang, C. Zou, W. Tao, 2021. *Numerical Study on Powder Stream Characteristics of Coaxial Laser Metal Deposition Nozzle*. Crystals, 11. <https://doi.org/10.3390/cryst11030282>.

[11]. I. Tabernerero, A. Lamikiz, E. Ukar, L.N.L. De Lacalle, C. Angulo, G. Urbikain, 2010. *Numerical simulation and experimental validation of powder flux distribution in coaxial laser cladding*. J. Mater. Process. Tech. 210, 2125–2134. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.036>.

AUTHORS INFORMATION

Duong Van Nguy, Trinh Quang Hung, Doan Tat Khoa

Faculty of Mechanical Engineering, Military Technical Academy, Vietnam