

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO HỆ THỐNG CẤP BỘT KIM LOẠI CHO CÔNG NGHỆ TẠO HÌNH TRỰC TIẾP BẰNG LASER (DLMD)

DESIGN AND FABRICATION OF THE POWDER FEEDER FOR DIRECT LASER METAL DEPOSITION (DLMD)

Đoàn Tất Khoa^{1*}, Dương Văn Ngụy¹, Trịnh Quang Hưng¹, Nguyễn Tài Hoài Thanh¹, Lê Văn Văn¹, Phạm Hoàng Hưng²

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.080>

TÓM TẮT

Tạo hình trực tiếp bằng laser (Direct Laser Metal Deposition-DLMD) là công nghệ chế tạo sản phẩm kim loại dựa trên nguyên lý AM (Additive Manufacturing). Công nghệ này hiện nay đang được phát triển rất mạnh mẽ và có tiềm năng ứng dụng rất lớn trong các ngành công nghiệp trọng điểm. Việc cấp bột cho các thiết bị DLMD có ý nghĩa quan trọng, ảnh hưởng lớn đến độ chính xác tạo hình. Bài báo này trình bày kết quả thiết kế chế tạo thiết bị cấp bột dạng đĩa quay ứng dụng cho công nghệ DLMD. Đã xác định các đặc tính kỹ thuật cho thiết bị cấp bột với bột vật liệu thép không gỉ 316L bằng thực nghiệm. Kết quả thực nghiệm xác định được quy luật thay đổi của lưu lượng cấp bột khi thay đổi lưu lượng cấp khí và tốc độ vòng quay của đĩa. Thiết bị cấp bột có đặc tính kỹ thuật đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật cấp bột cho công nghệ DLMD.

Từ khóa: Công nghệ tạo hình trực tiếp bằng laser, thiết bị cấp bột.

ABSTRACT

Direct Laser Metal Deposition-DLMD is developed base on Additive Manufacturing (AM). Currently, DLMD is strongly developing and has great application potential in industries. Powder feeding of DLMD is great significance and greatly affecting product accuracy. The results of designing and fabricating a rotating grooved disk powder feeder device for DLMD were presented in this paper. The specification of powder feeder with 316L stainless steel powder has been determined by experimentally. The experimental results showed the changing rule of powder feeding rate when changing the carrier gas flow rate and rotation speed of the disc. Characteristics of powder feeder can responds to the requirements of powder feeding for DLMD.

Keywords: Direct Laser Metal Deposition-DLMD, powder feeder.

¹Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự

²Viện mô phỏng, Học viện Kỹ thuật quân sự

*Email: khoadt@lqdtu.edu.vn

Ngày nhận bài: 01/3/2023

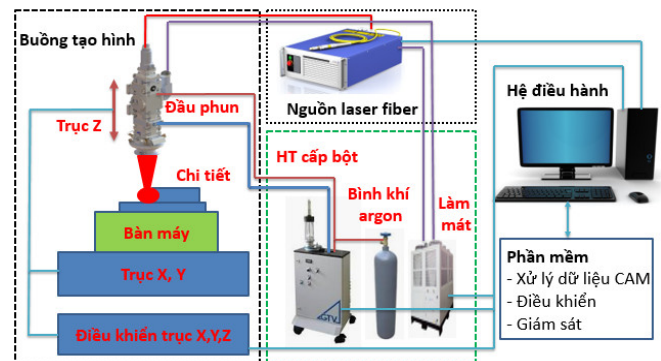
Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 11/4/2023

Ngày chấp nhận đăng: 26/4/2023

1. GIỚI THIỆU

DLMD là công nghệ tạo hình chi tiết kim loại hiện đại, đang nhận được sự quan tâm đặc biệt từ các nhà nghiên cứu do tiềm năng ứng dụng rất lớn trong nhiều lĩnh vực công nghiệp trọng điểm như hàng không vũ trụ, giao thông vận tải, y học, quân sự...[1]. Nguyên lý tạo hình của

công nghệ DLMD được thể hiện như hình 1. Đầu tiên cần thiết lập mô hình 3D trong phần mềm CAD, sau đó chuyển đổi mô hình 3D thành dạng mô hình phần tử tam giác định dạng STL, dữ liệu STL này sau đó được nhập vào phần mềm xử lý dữ liệu phân lớp mô hình 3D thành các lớp 2D có chiều dày nhất định, hình thành các dữ liệu điều khiển số để điều khiển quỹ đạo quét của chùm tia laser. Trong quá trình đầu phát laser và bàn làm việc chuyển động, bột vật liệu được thiết bị cấp bột và đầu phun đưa tới điểm hội tụ của chùm tia laser, chùm tia laser năng lượng cao đốt 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 rất nhanh, quá trình này tiếp tục cho đến khi hình thành xong một lớp vật liệu. Sau đó, đầu phun và chùm laser được nâng lên một khoảng để tiếp tục quá trình tạo hình lớp tiếp theo trên lớp vật liệu vừa được tạo hình ngay trước đó, quá trình này kết thúc khi hoàn thành lớp cuối cùng của sản phẩm [2]. Trong quá trình tạo hình, các thông số công nghệ, đặc biệt là thông số liên quan đến việc cấp bột cho đầu phun, ảnh hưởng lớn đến chất lượng chi tiết tạo hình [3].



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý công nghệ DLMD

Hệ thống cấp bột kim loại trong các thiết bị DLMD có vai trò rất quan trọng. Hệ thống cấp bột sẽ vận chuyển bột vật liệu từ phễu chứa bột đến đầu phun có tích hợp với chùm laser. Hiện nay, có nhiều hệ thống cấp bột khác nhau đang được sử dụng trong công nghệ DLMD. Có thể chia các thiết bị này thành các nhóm chính dựa trên nguyên lý hoạt động, bao gồm: Hệ thống cấp bột bằng trọng lực; Hệ thống cấp bột dạng trực vít; Hệ thống cấp bột khí nén; Hệ

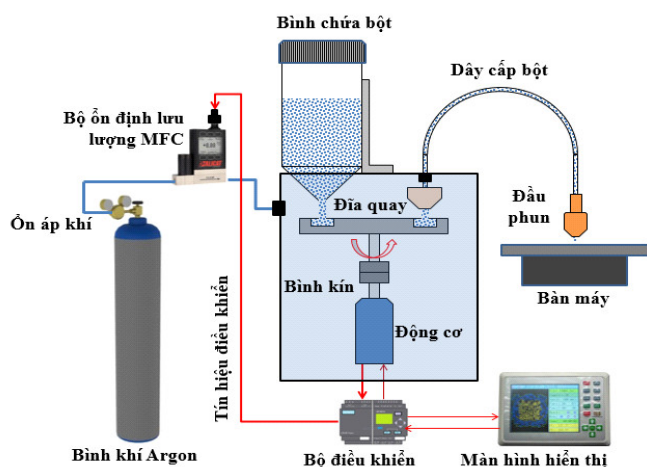
thống cấp bột dạng đĩa quay; Hệ thống cấp bột bằng đĩa quay và bánh cam; Hệ thống cấp bột dạng cơ cấu lắc. Mỗi loại hệ thống cấp bột đều có những ưu, nhược điểm riêng. Tuy nhiên, qua nhiều phân tích, đánh giá cho thấy hệ thống cấp bột dạng đĩa quay có độ chính xác cấp bột cao, phù hợp với các thiết bị công nghệ DLMD [4]. Hiện nay, các nghiên cứu về các hệ thống cấp bột còn rất hạn chế và không được công bố rộng rãi, đa phần thuộc quyền sở hữu trí tuệ của các công ty thương mại. Nghiên cứu này trình bày kết quả thiết kế chế tạo thiết bị cấp bột dạng đĩa quay sử dụng cho thiết bị công nghệ DLMD.

2. THIẾT KẾ CHẾ TẠO HỆ THỐNG CẤP BỘT

Việc tính toán thiết kế và chế tạo hệ thống cấp bột cần dựa trên các cơ sở về hình dạng, kích thước hạt và một số đặc tính khác của vật liệu. Đối với bột kim loại, khi kích thước hạt giảm thì khả năng chảy giảm [5]. Ngoài ra, hệ số rỗng (tỉ lệ thể tích giữa phần rỗng nằm trong khối vật liệu so với phần rắn của khối vật liệu đó), độ ẩm và độ kết dính giữa các hạt cũng ảnh hưởng đến khả năng chảy của bột kim loại [6]. Một trong những yêu cầu quan trọng nhất của hệ thống cấp bột đó là khả năng cung cấp dòng chảy khí-bột ổn định với độ chính xác cao về tốc độ cấp bột (tốc độ khối lượng g/phút, hoặc tốc độ thể tích cm³/phút). Công nghệ DLMD yêu cầu tốc độ cấp bột nhỏ nhưng với độ chính xác và độ ổn định cao. Việc lựa chọn hoặc tính toán thiết kế chế tạo hệ thống cấp bột có độ chính xác phù hợp sẽ góp phần đảm bảo được độ chính xác chi tiết tạo hình. Dựa vào các yêu cầu kỹ thuật cấp bột cho các thiết bị DLMD phổ biến hiện nay [7], xác định các thông số kỹ thuật cho hệ thống cấp bột dạng đĩa quay như bảng 1.

Bảng 1. Một số thông số kỹ thuật chính của hệ thống cấp bột

STT	Thông số kỹ thuật	Giá trị
1	Lưu lượng cấp bột (g/phút)	5 ÷ 50
2	Độ chính xác cấp bột (%)	≤ 5%
3	Độ hạt (µm)	10 ÷ 60
4	Áp lực cấp bột (MPa)	0,2 ÷ 0,4



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý hệ thống cấp bột đĩa quay

Nguyên lý làm việc của hệ thống cấp bột dạng đĩa quay như hình 2: Hệ thống bao gồm các bộ phận: bình chứa bột

kim loại, đĩa quay, bình cấp khí, động cơ điện và bộ điều khiển PLC. Đĩa quay có một rãnh để chứa bột, tại một đầu rãnh sẽ tiếp xúc liên tục với phễu, ở đầu còn lại của rãnh sẽ tiếp xúc với đầu hút (dạng như vòi hút). Bột từ phễu sẽ rơi vào rãnh trên đĩa quay dưới tác động của trọng lực, dưới tác động của cơ cấu truyền động, đĩa quay sẽ vận chuyển lượng bột này tới đầu hút, lượng bột này sẽ được hút vào ống và được vận chuyển đến đầu phun. Ở hệ thống này khi tốc độ quay của đĩa thay đổi, lượng bột cấp trong rãnh cho đầu hút cũng thay đổi, nhờ đó có thể dựa vào tốc độ quay của đĩa để đo được khối lượng bột được cấp.

Điểm lưu ý khi thiết kế, chế tạo hệ thống cấp bột dạng đĩa quay:

- Đặc tính của bột (mật độ bột, đặc tính chảy của bột, kích thước hạt của bột...).
- Yêu cầu đối với các chi tiết trong hệ thống cấp bột: Kích thước miệng phễu; kích thước đĩa quay (bao gồm cả rãnh dẫn bột...); chiều cao bột trong phễu cấp bột...

Đĩa quay dùng trong cơ cấu cấp bột phải đảm bảo phù hợp về kích thước bao, kích thước rãnh dẫn bột (chiều rộng và chiều cao rãnh...), độ nhám bề mặt... sao cho khi cơ cấu hoạt động lượng bột phải được cấp ổn định, không tắc hoặc cấp không đều...

Dựa trên dữ liệu thiết kế tiến hành chế tạo hệ thống cấp bột như hình 3.



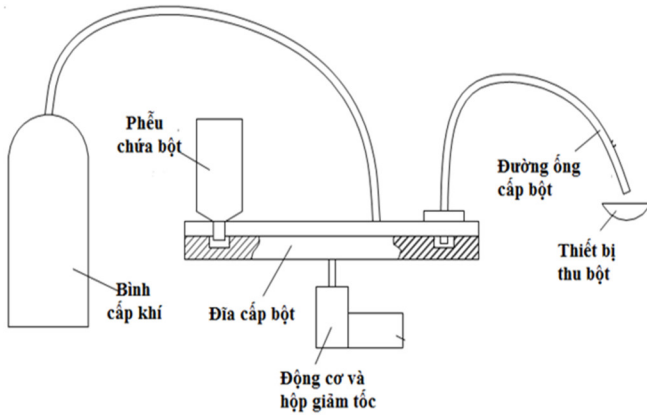
Hình 3. Hệ thống cấp bột dạng đĩa quay: (a) Mô hình thiết kế; (b) Hệ thống cấp bột chế tạo

3. THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ĐẶC TÍNH CỦA HỆ THỐNG

3.1. Mô hình thực nghiệm

Mô hình thí nghiệm thể hiện như trong hình 4 và 5 dùng để xác định các đặc tính của hệ thống cấp bột, tìm ra mối quan hệ giữa tốc độ quay của động cơ, lưu lượng cấp khí với lượng bột ra khỏi đầu phun để tính lưu lượng cấp bột của hệ thống. Sử dụng phương pháp thực nghiệm để thực hiện đo kiểm. Trong đó, thông số điều khiển là tốc độ

vòng quay của đĩa quay (điều khiển bởi động cơ điện), lưu lượng cấp khí; chỉ tiêu đầu ra là lượng bột theo khoảng thời gian xác định, lượng bột được xác định bởi cân điện tử. Từ kết quả đo, ta sẽ xây dựng được đồ thị liên hệ giữa tốc độ vòng quay của đĩa, lưu lượng cấp khí với lưu lượng cấp bột.



Hình 4. Sơ đồ thực nghiệm



Hình 5. Bố trí thiết bị thí nghiệm

Nguyên tắc đo được mô tả như sau:

- (1) Lưu lượng khí nén cấp vào hệ thống được điều khiển bằng van điều chỉnh khí nén.
- (2) Tốc độ quay của đĩa được điều khiển bằng động cơ điện điều khiển bởi PLC. Thời gian tác động của động cơ với mỗi vòng quay cố định là 30 giây.
- (3) Trong mỗi khoảng thời gian tác động của động cơ sẽ thu bột kim loại tại đầu ra của vòi phun, lượng bột kim loại này sau đó được cân bằng cân điện tử.

Vật liệu thí nghiệm là bột kim loại thép không gỉ 316L có thông số kỹ thuật như trong bảng 2. Dụng cụ đo sử dụng cân điện tử Shinko GS 2202N với định lượng nhỏ hiển thị sai số 0,01 gam. Các thông số và phạm vi thí nghiệm như trong bảng 3.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật bột thép 316L

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Kích thước hạt	μm	15 ÷ 53
2	Mật độ hạt	g/cm^3	4,69
3	Tỷ trọng	g/cm^3	7,98

Bảng 3. Thông số và phạm vi thí nghiệm

TT	Tham số	Giá trị
1	Số vòng quay n (Vòng/phút)	1 ÷ 6
2	Lưu lượng khí cấp bột Q_k (L/Phút)	3 ÷ 15
3	Thời gian một lần đo t (s)	30

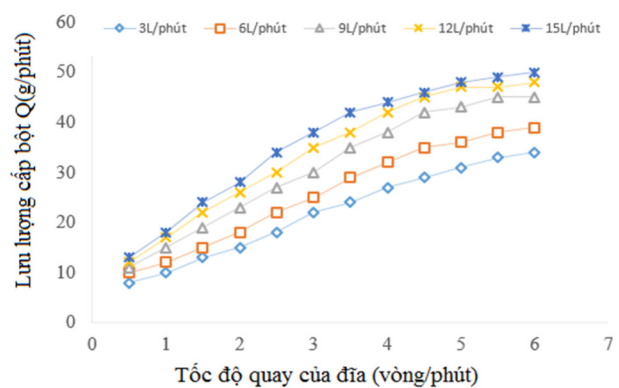
3.2. Kết quả và thảo luận

Kết quả thực nghiệm được thể hiện trong hình 6, mô tả mối quan hệ giữa tốc độ vòng quay của đĩa và lưu lượng khí với lưu lượng cấp bột khi sử dụng vật liệu bột thép không gỉ 316L. Kết quả thực nghiệm cho thấy:

Khi tăng tốc độ quay của đĩa thì lưu lượng cấp bột tăng, tuy nhiên mức độ tăng của lưu lượng cấp bột giảm dần khi tốc độ quay tăng lên cao. Đó là do ban đầu khi tăng tốc độ quay của đĩa thì số lượng hạt bột vật liệu đi qua khu vực ống hút tăng lên, tuy nhiên khi tốc độ quay tăng lên đạt đến mức độ nhất định thì tốc độ hút bột vật liệu cũng dần đạt đến trạng thái giới hạn và mức độ tăng sẽ chậm lại, dẫn đến lưu lượng cấp bột dần ổn định.

Khi tăng lưu lượng cấp khí thì lưu lượng cấp bột cũng tăng dần. Đó là do khi tăng lưu lượng cấp khí thì lực hút bột trong ống cũng tăng lên, dẫn đến khối lượng bột được hút vào ống cũng tăng dần lên. Khi tốc độ vòng quay đạt đến mức độ nhất định, lực hút đã đạt đến mức đủ mạnh để hút hết bột trong rãnh của đĩa khi đi qua đầu hút thì khối lượng bột được hút vào ống hút cũng tăng chậm lại và dần đạt trạng thái ổn định.

Từ kết quả thí nghiệm có thể rút ra được quy luật thay đổi lưu lượng cấp bột khi lưu lượng cấp khí và tốc độ quay của đĩa thay đổi. Lưu lượng cấp bột có thể được điều chỉnh chính xác bằng cách điều khiển tốc độ quay của đĩa. Tuy nhiên, tốc độ quay của đĩa không được quá nhanh để đề phòng trường hợp tắc nghẽn do bột bị tích tụ trong ống dẫn.



Hình 6. Đồ thị mối quan hệ giữa lưu lượng cấp bột với số vòng quay và áp suất khí

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thiết kế, chế tạo được thiết bị cấp bột bằng kim loại sử dụng cho công nghệ DLMD. Thực nghiệm đã xác định được mối quan hệ giữa lưu lượng cấp bột với tốc độ quay của đĩa và lưu lượng cấp khí. Về cơ bản lưu lượng cấp bột tăng khi tăng tốc độ quay của đĩa và lưu lượng cấp khí. Lưu lượng cấp bột dao động trong khoảng từ 8 ÷ 50 g/phút khi tốc độ cấp khí tăng từ 3 ÷ 15 L/phút và tốc độ vòng quay của đĩa tăng từ 1 ÷ 6 vòng/phút. Với các đặc tính kỹ thuật như trên thì thiết bị cấp bột này đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật cấp bột cho các thiết bị công nghệ DLMD.

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]. Jayanth N, Ravi K R, 2015. *Modeling of Laser Based Direct Metal Deposition Process*. International Journal on Engineering Technology and Sciences – IJETSTM, 2(4), 2349-3968.
- [2]. D. Gu, 2015. *Laser Additive Manufacturing of High-performance Materials*, Springer.
- [3]. E. Malekipour, H. El-Mounayri, Defects, 2018. *Process Parameters and Signatures for Online Monitoring and Control in Powder-Based Additive Manufacturing*. Mechanics of Additive and Advanced Manufacturing, 9, 83–90.
- [4]. Kai Zhang, Xinmin Zhang, Xingyu Jiang, 2017. *Flowrate Calibration of Coaxial Powder Feeder During Laser Additive Manufacturing*. Asia-Pacific Engineering and Technology Conference (APETC 2017), ISBN: 978-1-60595-443-1.
- [5]. Li Huishan, Yang Xi-chen, Lei Jian-bo, Wang Yun-shan, 2005. *A numerical simulation of movement powder flow and development of the carrier-gas powder feeder for laser repairing*. Lasers in Material Processing and Manufacturing II China, 557-564.
- [6]. Ambrish Singh, Sajan Kapil, Manas Das, 2020. *A comprehensive review of the methods and mechanisms for powder feedstock handling in directed energy deposition*. Additive Manufacturing 35, 101388.
- [7]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030399221004680>

AUTHORS INFORMATION

**Doan Tat Khoa¹, Duong Van Nguy¹, Trinh Quang Hung¹,
Nguyen Tai Hoai Thanh¹, Le Van Van¹, Pham Hoang Hung²**

¹Faculty of Mechanical Engineering, Military Technical Academy

²Institute of Simulation technologies, Military Technical Academy