



Design of Powder Feeding Mechanism Using Lever for Powder Material-Based 3D Printer

Khanh Le and Thi Huynh

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

September 24, 2024

Thiết kế cụm cấp liệu bằng thanh gạt cho máy in 3D sử dụng vật liệu bột. (Design of powder feeding mechanism using lever for powder material-based 3D printer)

Le Hoang Van Khanh^{1,2,3}, Huynh Quoc Thi^{1,2,3}

¹Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Bách Khoa (HCMUT), 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường Đại học Bách Khoa (HCMUT), 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Đại học Quốc Gia TP Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Thành Phố Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên lạc: khanh.lehoang2101@hcmut.edu.vn

Tóm tắt

Công nghệ sản xuất bồi đắp (AM – Additive Manufacturing) đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau nhờ vào sự đa dạng về vật liệu sử dụng. Đặc biệt, công nghệ sản xuất bồi đắp kim loại (In 3D kim loại) đã nổi lên như một giải pháp ưu việt, với khả năng linh hoạt trong thiết kế và các đặc tính cơ học tương đương không thua kém so với các sản phẩm kim loại được chế tạo bằng phương pháp truyền thống. Tuy nhiên, chi phí đầu tư cho công nghệ này vẫn ở mức cao, khiến các thiết bị in 3D kim loại chủ yếu được sử dụng trong quy mô công nghiệp, tạo ra rào cản lớn đối với các nghiên cứu và thử nghiệm ở trong nước. Xuất phát từ nhu cầu về một thiết bị quy mô phòng thí nghiệm để hỗ trợ nghiên cứu, nhóm tác giả đã tiến hành tìm hiểu công nghệ và thực hiện bài báo này với mục đích thiết kế được cụm cấp liệu – một bộ phận chính trong máy in 3D kim loại. Kết quả của bài báo là một cụm cấp liệu sử dụng thanh gạt được thiết kế và tính toán các thông số có ảnh hưởng đến vật liệu bột kim loại, TPU, PA11... (nguyên liệu sử dụng nếu có bước thử nghiệm là nhựa PA11). Sau đó cụm cấp liệu được kiểm nghiệm ở nhiều tiêu chí và nhóm tác giả sẽ đánh giá mức độ ứng dụng vào thiết bị thực tế.

The Additive Manufacturing (AM) technology has been widely applied across various fields due to its versatility in material usage. Notably, metal additive manufacturing (3D metal printing) has emerged as an optimal solution, offering design flexibility and mechanical properties comparable to those of metal products produced by traditional methods. However, the high investment costs associated with this technology have limited the use of 3D metal printers to industrial scales, creating significant barriers for domestic research and experimentation. In response to the need for a laboratory-scale device to support research, our team has conducted an in-depth study of the technology and undertaken this paper with the objective of designing a feeder unit—a key component of 3D metal printers. The result is a feeder unit employing a wiper blade mechanism, designed with calculations for parameters affecting metal powders, TPU, PA11, and other materials (with PA11 plastic used as the main material). The feeder unit was then tested under various criteria, and the team will evaluate its applicability to actual devices.

Từ khóa: *Cụm cấp liệu, Thanh gạt, Vật liệu bột, PA11*

1. Giới thiệu

Theo dữ liệu từ trang Marketsandmarkets đã chỉ ra rằng “Thị trường kim loại in 3D toàn cầu được định giá ở mức 1.800,2 triệu đô la Mỹ vào năm 2022 và dự kiến sẽ đạt 5.542,7 triệu đô la Mỹ vào năm 2027, tăng trưởng ở mức CAGR 32,5% từ năm 2022 đến năm 2027. Nhu cầu về in 3D kim loại tăng lên từ các ngành công nghiệp hàng không vũ trụ & quốc phòng và ô tô và tùy chỉnh hàng loạt các sản phẩm có thiết kế và cấu trúc phức tạp đang thúc đẩy sự tăng trưởng của thị trường.” [1] Số liệu trên cho thấy công nghệ in 3D kim loại đang phát triển với quy mô một lĩnh vực riêng so với các nhóm công nghệ sản xuất bồi đắp khác. Trước đó trong lịch sử công nghệ in 3D kim loại sử dụng vật liệu bột đã trải qua một quá trình phát triển dài và đầy thách thức, bắt đầu từ những năm 1980 khi các phương pháp tiên phong như Powder Bed Fusion (PBF) và Selective Laser Melting (SLM) lần đầu tiên được giới thiệu.[2] Ban đầu, công nghệ này chỉ được nghiên cứu và thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm với phạm vi ứng dụng còn hạn chế, do những khó khăn trong việc kiểm soát chất lượng, đồng nhất vật liệu và chi phí sản xuất cao. Tuy nhiên, qua nhiều năm cải tiến, công nghệ in 3D kim loại đã tiến tới giai đoạn có thể đáp ứng

được các yêu cầu khắt khe về độ chính xác và độ bền của sản phẩm, mở ra một kỷ nguyên mới trong sản xuất các chi tiết phức tạp từ kim loại. Ưu điểm nổi bật của công nghệ này bao gồm khả năng tạo ra các cấu trúc có hình dạng phức tạp và tối ưu hóa theo yêu cầu riêng, điều mà các phương pháp chế tạo truyền thống khó có thể đạt được. Bên cạnh đó, công nghệ này còn giúp giảm thiểu lãng phí vật liệu, tối ưu hóa thời gian sản xuất và cho phép sản xuất các sản phẩm có thiết kế tùy chỉnh cao. Vì vậy tiềm năng của công nghệ in 3D kim loại là vô cùng lớn, đặc biệt trong các lĩnh vực như y tế, hàng không vũ trụ và công nghiệp sản xuất tiên tiến. [3] Khả năng tạo ra các bộ phận cấy ghép y tế chính xác, chi tiết máy bay nhẹ và bền, cũng như các sản phẩm công nghiệp có độ phức tạp cao đã mở ra những hướng đi mới cho thiết kế và sản xuất trong các ngành công nghiệp này.

Mặc dù công nghệ in 3D vật liệu bột kim loại đã chứng minh được giá trị vượt trội trong quy mô công nghiệp, đặc biệt trong việc sản xuất hàng loạt các bộ phận phức tạp và tối ưu hóa chi phí, nhưng khi áp dụng ở quy mô nghiên cứu và phòng thí nghiệm, công nghệ này lại gặp phải nhiều thách thức đáng kể. Một trong những khó khăn lớn nhất là việc quản lý và vận hành

các hệ thống in 3D kim loại tiên tiến, đòi hỏi cơ sở hạ tầng phức tạp và chi phí đầu tư ban đầu rất cao, điều này thường vượt quá khả năng của các phòng thí nghiệm nghiên cứu nhỏ. Hơn nữa, quy trình sản xuất đòi hỏi sự kiểm soát chính xác về nhiệt độ, tốc độ tia laser và môi trường in khiến việc duy trì chất lượng sản phẩm ổn định trở nên khó khăn trong điều kiện nghiên cứu. Ngoài ra, công nghệ này yêu cầu một lượng lớn bột kim loại chất lượng cao, có thể gây ra lãng phí lớn trong môi trường thí nghiệm, nơi mà việc sử dụng nguyên liệu cần được tối ưu hóa. Thêm vào đó, các vấn đề liên quan đến an toàn lao động, như xử lý và bảo quản bột kim loại, cũng đòi hỏi các biện pháp phòng ngừa nghiêm ngặt, điều mà không phải phòng thí nghiệm nào cũng có thể đáp ứng đầy đủ.[4] Những yếu tố này làm cho việc áp dụng công nghệ in 3D kim loại vật liệu bột trong nghiên cứu quy mô nhỏ trở nên phức tạp và ít khả thi hơn so với trong môi trường công nghiệp lớn, nơi có đủ nguồn lực và điều kiện để vận hành hiệu quả công nghệ tiên tiến này.

Dù vậy trên thế giới đã có rất nhiều công trình nghiên cứu từ các nhà khoa học về sản xuất cũng như tối ưu hóa thiết bị in 3D kim loại quy mô phòng thí nghiệm hay còn gọi là DIY (Do It Yourself). Trong các nỗ lực cải thiện hệ thống cấp bột cho công nghệ in 3D kim loại, nhiều nghiên cứu gần đây đã đóng góp những hiểu biết quan trọng. Cụ thể trong một nghiên cứu gần nhất Christian và các cộng sự [5] đã phân tích các kỹ thuật xử lý và cấp liệu bột kim loại, nhấn mạnh rằng việc tối ưu hóa tốc độ cấp liệu và thiết kế buồng cấp bột có thể giảm tình trạng tắc nghẽn và cải thiện chất lượng sản phẩm. Tiếp tục trong lĩnh vực này, Zhang và Liu [6] đã cung cấp cái nhìn tổng quan về các xu hướng và phương pháp mới trong xử lý bột, cho thấy rằng việc áp dụng công nghệ cấp bột tự động và điều chỉnh đồng đều có thể nâng cao hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống. Ngoài ra, Kumar và Smith [7] đã tập trung vào các yếu tố thiết kế quan trọng đối với hệ thống cấp bột, và nghiên cứu của họ chỉ ra rằng cải tiến thiết kế các thành phần chính có thể nâng cao độ chính xác và giảm gián đoạn trong quá trình cấp liệu. Để mở rộng thêm, Patel và Rao [8] đã thảo luận về các thách thức chính trong việc cấp bột cho máy in 3D kim loại để bàn, đồng thời đề xuất các giải pháp như công nghệ cấp bột cải tiến nhằm cải thiện hiệu suất và độ tin cậy. Cuối cùng, Walker và Green [9] đã cập nhật các tiến bộ gần đây trong hệ thống xử lý bột, nhấn mạnh rằng việc tích hợp công nghệ mới và nâng cấp thiết kế hiện tại có thể nâng cao đáng kể hiệu quả và chất lượng của quy trình in 3D, đáp ứng tốt hơn yêu cầu của các ứng dụng công nghiệp và nghiên cứu. Những nghiên cứu này cùng nhau đóng góp vào việc tối ưu hóa quy trình cấp bột và cải thiện chất lượng sản phẩm in 3D kim loại. Tuy nhiên các nghiên cứu vẫn chưa hoàn toàn giải quyết được các vấn đề về hiệu suất trong điều kiện thực tế đa dạng và chưa tối ưu hóa hoàn toàn chi phí sản xuất. Nhiều nghiên cứu cũng thiếu thử nghiệm thực tế quy mô lớn và chưa cung cấp đánh giá đầy đủ về sự bền bỉ của các giải pháp thiết kế qua thời gian dài. Nhận thấy các vấn đề trên, nhóm tác giả quyết định thực hiện đề tài thiết kế cụm cấp liệu cho máy in 3D sử dụng vật liệu bột với các bước đi từ phân thiết kế, tính toán, kiểm nghiệm và đánh giá mức độ ứng dụng thực tế của đề tài dựa trên kết quả có được. Các điều kiện ban đầu để tính toán thiết kế sẽ dựa trên vật liệu thử nghiệm là nhựa PA11 dạng bột, do thiết kế cụm cấp liệu chỉ cần thử nghiệm ở một vài tiêu chí trong phạm vi một cơ cấu nên chưa cần đến vật liệu kim loại. Ngoài ra, PA11 có nhiệt độ nóng chảy thấp (150-200°C) so với kim loại (trên 1000°C), phù hợp cho thiết kế máy nhỏ với laser năng lượng

thấp. Chi phí thấp và thích hợp cho giai đoạn thiết kế, thử nghiệm ban đầu. Sau khi in, các chi tiết PA11 dễ xử lý bằng tay hoặc công cụ đơn giản, trong khi kim loại đòi hỏi thiết bị phức tạp. Thời gian in nhanh hơn nhờ sử dụng ít năng lượng.

2. Các phương án

2.1 Nguyên lý hoạt động

Trong quá trình sản xuất bồi đắp, cụm cấp liệu đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp và xử lý nguyên liệu. Nguyên liệu bột được đưa từ hộp chứa vào bộ xây dựng bằng cách sử dụng các thiết bị như thanh gạt hoặc con lăn. Các thiết bị này trải đều bột lên bề mặt in, tạo thành một lớp mỏng đồng nhất. Lớp bột này sau đó được nung chảy bằng laser hoặc tia electron để liên kết với lớp bột trước đó, hình thành cấu trúc của chi tiết in.[10] Trong suốt quá trình in, có thể có một lượng bột dư thừa không được sử dụng. Các hệ thống cấp liệu hiện đại được thiết kế để thu hồi và tái sử dụng bột dư, chuyển nó trở lại hộp chứa nguyên liệu. Cụm cấp liệu đảm bảo sự chính xác trong việc phân phối bột và duy trì độ mịn của lớp bột, từ đó góp phần vào việc đạt được chất lượng và tính cơ học của sản phẩm cuối cùng.

2.2 Cấu tạo chính của cụm cấp liệu

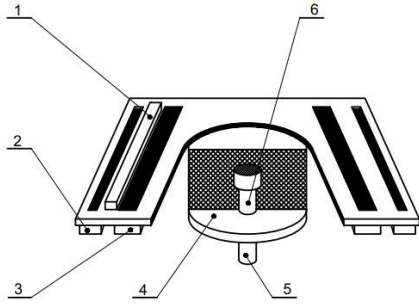
Cấu tạo và chức năng các bộ phận tạo nên cụm cấp liệu bao gồm:

- Bộ chứa bột: nơi chứa vật liệu in (bột kim loại, nhựa hay gốm sứ). Bể này được thiết kế để giữ và bảo vệ bột khỏi bị ẩm ướt hoặc bị oxy hoá.
- Cụm trải bột: là bộ phận quan trọng nhất bởi vì bộ phận này trực tiếp tiếp xúc với vật liệu, bao gồm cơ cấu thanh gạt hoặc con lăn đồng thời sử dụng các cơ cấu truyền động cơ khí khác, có nhiệm vụ gạt (lăn) lớp bột mỏng đến bề mặt in, bộ phận này có thể được làm bằng cao su, kim loại hoặc vật liệu composite để đảm bảo độ chính xác và đồng nhất của lớp bột.
- Bàn in: là nơi các lớp bột được trải lên và được nung chảy theo từng lớp để tạo thành sản phẩm, được gắn trực tiếp vào trục Z để tạo điều kiện cho việc in các lớp tiếp theo.
- Bộ phận gia nhiệt: duy trì nhiệt độ ổn định cho bột và bàn in, giúp đảm bảo quá trình nung chảy và làm nguội hiệu quả.
- Bộ phận tái chế bột: thu gom bột không được sử dụng sau mỗi lớp in và tái chế chúng cho lần in tiếp theo, tránh sự lãng phí vật liệu.

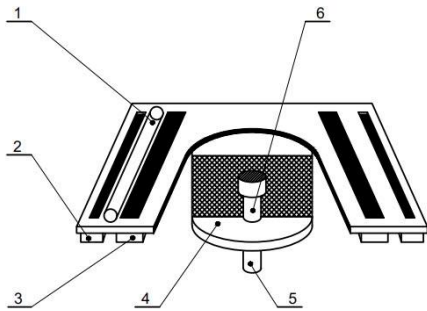
2.2 Các phương án

Nhóm tác giả tiến hành khảo sát cơ cấu chuyển động cũng như độ đồng đều khi gạt bột thì quyết định phân tích và lựa chọn một trong hai phương án ở hình 1 và 2 dựa trên các cơ sở sau:

- Kích thước vùng in: 150x150x150 – 500x500x500 phù hợp để thiết kế các thiết bị in cỡ nhỏ
- Độ phân giải: Trục XY tối thiểu 0,1mm phù hợp in các chi tiết nhỏ sử dụng tia laser có công suất 15W, trục Z tối thiểu từ 0,05-0,2mm.
- Mức độ tiêu thụ năng lượng: Thời gian hoạt động tối thiểu 100 giờ, công suất thiết bị tiêu thụ tối đa 2kW.
- Kích thước tổng thể: không quá 1000x1000x1000mm.
- Tuổi thọ các linh kiện: hoạt động tối thiểu 5 năm, dùng các linh kiện có độ bền cao và dễ thay thế khi có hỏng hóc xảy ra.



Hình 1. Cụm cấp liệu thanh gạt 1-Thanh gạt 2-Thùng chứa bột 3-Bàn gia công 4-Trục nâng đỡ 5-Chi tiết



Hình 2. Cụm cấp liệu con lăn 1- Con lăn 2-Thùng chứa bột 3-Bàn gia công 4-Trục nâng đỡ 5-Chi tiết

Bảng 1. So sánh 2 phương án

Tiêu chí	Độ nén bột	Tốc độ	Ma sát	Độ bền	Khả năng tùy chỉnh
Phương án 1	nén nhẹ bột	Cao	Thấp	Cao	Dễ điều chỉnh
Phương án 2	Không nén	Thấp	Cao	Thấp	Ít linh hoạt

3. Tính toán thiết kế

3.1 Tính toán chọn động cơ

Thông số ban đầu:

- Khối lượng: Thanh ray – 0,62 kg, con trượt – 0,092 kg, bộ gạt thanh gạt – 0,4 kg, thanh gạt – 0,15 kg.
- Vận tốc gạt: 30 mm/s
- Hệ số ma sát trượt giữa con trượt và ray trượt: $\mu = 0,012$.
- Gia tốc trọng trường $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Khối lượng của phần dịch chuyển là $m = 3 \text{ kg}$.
- Tốc độ in: 10 cm³/h
- Độ dày lớp: $0,2 \pm 0,02 \text{ mm}$

Từ các thông số trên tính được:

Moment cản trên khớp nối của động cơ:

$$M_c = \frac{m \times g \times \mu \times \cos \alpha}{(2 \times \pi \times i \times \eta)} = \frac{3 \times 9,81 \times 0,12 \times \cos 0}{(2\pi \times 1 \times 0,9)} = 0,624 \text{ Nm} \quad (1)$$

Tính vận tốc dài:

Với

$$v_{max} = \frac{\pi \times D \times n}{60000} = \frac{\pi \times 16 \times 2000}{60000} = 1,68 \text{ m/s} \quad (2)$$

Moment cản sinh ra do ma sát tĩnh khi chuyển động:

$$M_{ccd} = \frac{\mu \times F_b}{(2 \times \pi \times i \times \eta \times v_{max})} = \frac{(0,012 \times 29,43)}{(2 \times \pi \times 1 \times 0,9 \times 1,68)} = 0,04 \text{ N.m} \quad (3)$$

Trong đó: F_b : là lực tác dụng lên bề mặt ray trượt

Moment cần thiết để mở máy:

$$M_{st} = M_c + M_{ccd} = 0,624 + 0,04 = 0,664 \text{ N.m} \quad (4)$$

Dựa vào moment xoắn toàn phần trên trục động cơ, nhóm tác giả lựa chọn động cơ bước (Stepmotor) : 42STH48-2504AC của hãng Sumtor. [11]

3.2 Tính toán lựa chọn đai

Trong quá trình làm việc để tránh cắt chân răng và đứt đai, cần kiểm nghiệm theo khả năng kéo bằng cách tính tải trọng riêng w_t : $w_t \leq [w_t]$

Trong đó: $[w_t]$ là tải trọng cho phép, N/mm

Tải trọng riêng xác định theo công thức:

$$w_t = \frac{F_t}{b} + \frac{q \times v^2}{10} = \frac{0,35}{6} + \frac{0,2 \times 0,03^2}{10} = 0,058 \text{ N/mm} \quad (5)$$

Trong đó:

+ F_t : lực vòng, $F_t = F_{ms}$

+ v : vận tốc, $v = 30 \text{ mm/s}$

+ b : bề rộng đai ($b = 6 \text{ mm}$)

+ q : khối lượng 1m dây đai với $b = 6 \text{ mm}$

Khi đó:

Tải trọng riêng cho phép được tính theo công thức:

$$[w_t] = [w_0] \times C_r \times C_u \times C_b \times C_c = 2,7 \times 0,85 \times 1 \times 0,5 \times 1 = 1,14 \text{ N/mm} \quad (6)$$

Trong đó:

+ $[w_0] = 2,7$ - Tải trọng riêng cho phép, N/mm

+ $C_r = 0,85$ - Hệ số tải trọng động

+ $C_u = 1$ - Hệ số xét đến ảnh hưởng tỉ số truyền

+ $C_b = 0,5$ - Hệ số xét ảnh hưởng đến bề rộng dây đai

+ $C_c = 1$ - Hệ số ảnh hưởng đến việc sử dụng con trượt dẫn hướng, sử dụng 2 con trượt.

Ta có: $w_t = 0,058 \text{ N/mm} < [w_t] = 1,14 \text{ N/mm}$

Vậy đai đã thỏa mãn khả năng kéo.

3.3 Tính toán cụm nâng hạ bột

Ta chọn vít me được chế tạo bằng thép C45 có giới hạn chảy $\sigma_{ch} = 360 \text{ MPa}$ nên ta có giới hạn kéo: [12]

$$\sigma_k = \frac{\sigma_{ch}}{3} = \frac{360}{3} = 120 \text{ MPa} \quad (7)$$

Tải trọng do cụm bàn máy và lượng bột PA11 tác dụng lên vít me:

$$F = m \times g = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \times g = (2,5 + 0,5 + 1 + 0,5) \times 9,8 = 44,1 \text{ N} \quad (8)$$

Trong đó:

+ m_1 : khối lượng của vật liệu bột ($m_1 = 2,5 \text{ kg}$)

+ m_2 : khối lượng bàn in ($m_2 = 0,5 \text{ kg}$)

+ m_3 : khối lượng giá bàn in ($m_3 = 1 \text{ kg}$)

+ m_4 : khối lượng các chi tiết khác: đai ốc bi, bulong, đai ốc thường,...

Lực quán tính do cụm bàn máy và vật liệu gây ra

$$F_{qt} = M \times a = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \times a = (2,5 + 0,5 + 1 + 0,5) \times 1,2 = 5,4 \text{ N} \quad (9)$$

Lực dọc trục tác dụng lên vít me:

$$F_a = \frac{(F + F_{qt})}{2} = \frac{(44,1 + 5,4)}{2} = 24,75 \text{ N} \quad (10)$$

Tính toán đường kính sơ bộ d:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \times 1,3 \times F_a}{\pi \times [\sigma_k]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1,3 \times 24,75}{\pi \times 120}} = 1,5 \text{ mm} \quad (11)$$

Do tải trọng tác dụng lên vít me ở mức trung bình nên ta chọn vít me có đường kính $d = 12 \text{ mm}$ là hợp lý.

Đối với trục Z không cần chạy ở tốc độ cao nên ta chọn sử dụng vít me bi với các thông số sau:

- Đường kính: $d = 12 \text{ mm}$
- Bước ren: $p = 8 \text{ mm}$
- Chiều dài: $l = 250 \text{ mm}$

3.4 Tính toán trục Z

Lựa chọn động cơ

Do bộ truyền trục vít – đai ốc bi có độ chính xác cao, ít bị rơ nên ta chọn động cơ bước để truyền chuyển động cho bộ truyền. Động cơ bước dễ dàng điều khiển và giá rẻ hơn so với động cơ servo. [13]

Với lực dọc trục $F_a = 24,75 \text{ N}$ tác dụng lên vít me, ta có công suất của bộ truyền:

$$P_{ct} = F_a \cdot v = 24,75 \times 0,03 = 0,74 \text{ (W)} \quad (12)$$

Công suất cần thiết của động cơ trục Z:

$$P_{dc} = \frac{P_{ct}}{n} = \frac{0,74}{0,94} = 0,79 \text{ (W)} \quad (13)$$

Trong đó: $n = 0,94$: hiệu suất của bộ truyền vít me – đai ốc
Trong quá trình tạo sản phẩm, trục Z di chuyển với tốc độ tối đa là 30 mm/s. Bước ren của trục vít me – đai ốc sử dụng là $p = 8 \text{ mm}$ và số vòng quay của trục vít me là:

$$n = \frac{30 \times 60}{8} = 225 \text{ vòng/phút} \quad (15)$$

Do đó, moment trên trục động cơ là:

$$T = 9,55 \times 10^6 \times \frac{P_{dc}}{n} = 9,55 \times 10^6 \times \frac{0,79 \times 10^{-3}}{225} = 33,53 \text{ (Nmm)} \quad (16)$$

Từ số vòng quay và moment trên trục động cơ, nhóm tác giả lựa chọn động cơ bước của hãng Usongshine có số hiệu 17HS4401 [14]

Lựa chọn puly

Bảng 2. Thông số puly

Thông số	Giá trị
L	16 mm
d_1	8 mm
d_2	16 mm
d_0	12,22 mm
H	7,4 mm
Số răng	24
Bước răng	2mm

3.5 Thiết kế cụm trục XY

Lựa chọn động cơ

Thông số đầu vào:

- Ray trượt:

$$m_1 = 0,65 \times 0,4 = 0,636 \text{ kg}$$

- Con trượt của trục X và trục Y:

$$m_2 = 2 \times 0,092 = 0,184 \text{ kg}$$

- Bộ gá cụm laser:

$$m_3 = 0,25 \text{ kg}$$

- Thanh nhôm 20 x 20 x 360mm:

$$m_4 = 0,15 \text{ kg}$$

- Laser:

$$m_5 = 0,3 \text{ kg}$$

- Giá đỡ cụm trục Y:

$$m_6 = 0,08 \text{ kg}$$

Dựa vào chức năng Mass Properties trong phần mềm Solidworks, thực hiện ước tính khối lượng cho cụm gạt bột, ta có được $m=2 \text{ kg}$. Để đảm bảo an toàn, tránh quá tải cho động cơ nên cần lựa chọn khối lượng 4 kg để tính toán.

Đối với hệ số ma sát, khi thấy các cụm đứng yên sẽ sinh ra ma sát nghỉ, một phần là do các bề mặt tiếp xúc với nhau do dầu bôi trơn, khi đó lực ma sát sẽ là lớn nhất. Để đơn giản, ta lấy gần đúng hệ số ma sát nghỉ của con trượt trong điều kiện bôi trơn dầu và chịu tải 100% từ hãng Hiwin. [15]

Vậy hệ số ma sát $\mu=0,012$.

Ta sẽ chọn động cơ bước số hiệu 42STH48-2504AC.

Tính toán lựa chọn đai

Trong quá trình làm việc để tránh cắt chân răng và đứt đai, cần kiểm nghiệm theo khả năng kéo bằng cách tính tải trọng riêng $w_t: w_t \leq [w_t]$

Trong đó: $[w_t]$ là tải trọng cho phép, N/mm

Tải trọng riêng xác định theo công thức:

$$w_t = \frac{F_t}{b} + \frac{q \times v^2}{10} \quad (17)$$

Trong đó:

+ F_t : lực vòng, $F_t = F_{ms}$

+ v : vận tốc, $v = 100 \text{ mm/s}$

+ b : bề rộng đai ($b = 6 \text{ mm}$)

+ q : khối lượng 1m dây đai với $b = 6 \text{ mm}$

Khi đó:

$$w_t = \frac{F_t}{b} + \frac{q \times v^2}{10} = \frac{0,47}{6} + \frac{0,2 \times 0,1^2}{10} = 0,08 \text{ N/mm} \quad (19)$$

Tải trọng riêng cho phép được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} [w_t] &= [w_0] \times C_r \times C_u \times C_b \times C_c \\ &= 2,7 \times 0,85 \times 1 \times 0,5 \times 1 \\ &= 1,14 \text{ N/mm} \end{aligned} \quad (20)$$

Trong đó:

+ $[w_0] = 2,7$ - Tải trọng riêng cho phép, N/mm

+ $C_r = 0,85$ - Hệ số tải trọng động

+ $C_u = 1$ - Hệ số xét đến ảnh hưởng tỉ số truyền

+ $C_b = 0,5$ - Hệ số xét ảnh hưởng đến bề rộng dây đai

+ $C_c = 1$ - Hệ số ảnh hưởng đến việc sử dụng con trượt dẫn hướng, sử dụng 2 con trượt

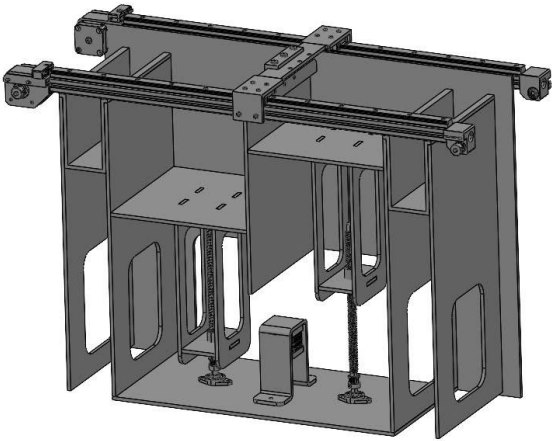
Ta có: $w_t = 0,08 \text{ N/mm} < [w_t] = 1,14 \text{ N/mm}$

Vậy đai đã thỏa mãn khả năng kéo.

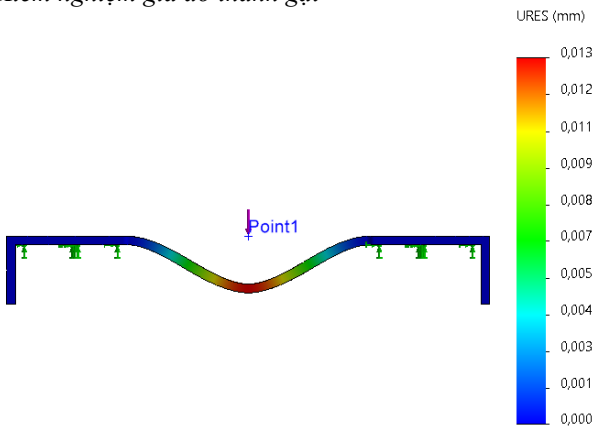
4. Kết quả thiết kế cụm cấp liệu và kiểm nghiệm

4.1 Kết quả thiết kế

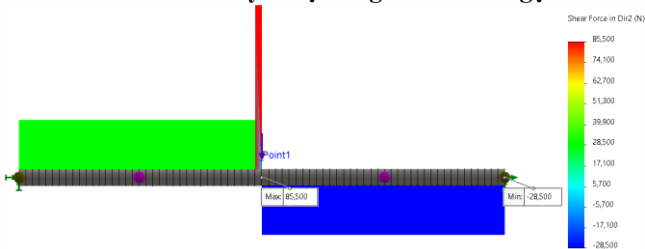
Với kết quả tính toán ở trên và dựa vào kết cấu thực tế, cụm cấp liệu được thiết kế trên phần mềm solidworks như sau:



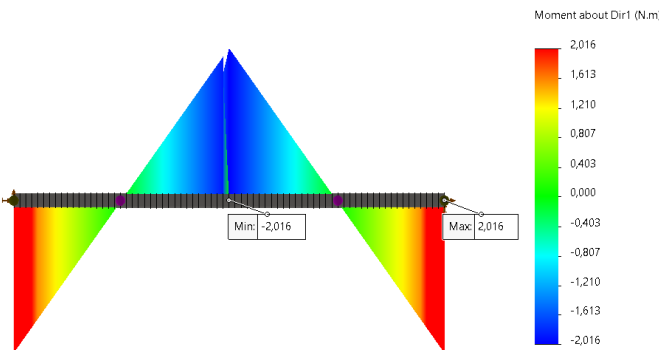
Hình 3. Kết quả thiết kế cụm cấp liệu thanh gạt
4.2 Kết quả kiểm nghiệm
 Kiểm nghiệm giá đỡ thanh gạt



Hình 4. Chuyển vị của giá đỡ thanh gạt



Hình 5. Biểu đồ lực cắt



Hình 6. Biểu đồ moment lực

5. Thảo luận

5.1 Kết quả kiểm nghiệm

Hình 4: Thanh gạt có hình dạng cong xuống ở phần giữa (2 đầu được giữ cố định) có giá trị 0,013mm. Đây là phần chuyển vị lớn nhất, hai đầu thanh gạt chuyển vị gần như bằng 0. Kết

quả cho thấy thanh gạt được thiết kế có chuyển vị khá nhỏ khi có lực tác dụng lên.

Hình 5: Lực cắt phân bố logic dọc theo chiều dài thanh gạt, bên dương bên âm cho thấy sự cân bằng tốt. Giá trị lực cắt tối đa 85 500N hoàn toàn phù hợp với khả năng chịu tải của thép không gỉ được sử dụng cho thanh gạt. Sự thay đổi tại điểm giữa tạo ra áp lực cần thiết để đảm bảo đồng đều lớp bột.

Hình 6: Biểu đồ ở dạng đối xứng, phân bố moment dọc theo chiều dài thanh gạt. Giá trị tối đa nằm ở 2 đầu và giữa thanh, còn lại có giá trị thấp. Moment dương ở giữa thanh tạo lực ép cần thiết để gạt bột đều và mịn. Moment âm giúp thanh gạt ổn định và cân bằng.

5.2 Khả năng phân phối bột

Khả năng phân phối bột đồng đều và chính xác của cụm cấp liệu phụ thuộc vào nhiều yếu tố quan trọng, trong đó bao gồm các đặc tính của bột, thanh gạt và cơ cấu của cụm cấp liệu.

Trước hết, kích thước và đặc tính của bột đóng vai trò quan trọng. Kích thước hạt bột cần đồng đều, thường nằm trong khoảng micromet để đảm bảo độ chính xác khi in. Bột phải được bảo quản trong môi trường khô, tránh hấp thụ ẩm vì độ ẩm có thể ảnh hưởng đến quá trình nung nóng và liên kết giữa các lớp in. Ngoài ra, tính chất vật liệu bột như độ cứng, độ bền, khả năng chịu nhiệt và tính năng điện hóa cần phù hợp với mục đích sử dụng của sản phẩm in 3D. Bột cũng phải sạch sẽ, không chứa tạp chất, để đảm bảo chất lượng cuối cùng. Điều kiện lưu trữ và xử lý bột phải được tuân thủ nghiêm ngặt nhằm duy trì tính ổn định và chất lượng. Cuối cùng, vật liệu bột thường phải trải qua các thử nghiệm và chứng nhận đạt tiêu chuẩn an toàn và chất lượng.

Bên cạnh đó, thanh gạt cũng là một yếu tố quan trọng. Thanh gạt được làm từ thép không gỉ với độ cứng 50-55HRC, góc vát tiếp xúc với bột là $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$, có kích thước tổng thể 200x20x5mm và độ phẳng tiếp xúc với bột đạt 0,02mm. Tốc độ gạt của thanh là 30mm/s, đảm bảo lớp bột được phân phối đều trên bề mặt in.

Cuối cùng, cơ cấu của cụm cấp liệu ảnh hưởng đến sự đồng đều của quá trình cấp bột. Thùng cấp liệu và thùng chứa chi tiết gia công có cùng thể tích 200x200x200mm, giúp đảm bảo sự cân đối trong quá trình in. Hệ thống vít me bi với bước ren 8mm, đường kính 12mm, khi vận hành có sai số $\pm 10 \pm 50 \mu m$, giúp duy trì độ chính xác trong quá trình cấp liệu.

5.3 Ảnh hưởng của ma sát

Hệ số ma sát của các vật liệu như kim loại dạng bột, PA11 hay TPU ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác, đồng đều và ổn định của hệ thống:

Về tính chính xác: nếu hệ số ma sát cao, bột có thể bám dính trên thanh gạt hoặc bề mặt in dẫn đến sự phân phối không chính xác của lớp bột. Ngược lại, với vật liệu có hệ số ma sát thấp như kim loại, bột có thể trượt quá dễ dàng, gây khó khăn trong việc kiểm soát độ dày lớp bột in.

Đối với tính đồng đều, vật liệu có hệ số ma sát cao như TPU dễ gây hiện tượng "cầu" hoặc vón cục, làm phân phối bột không đều. Trong khi đó, nếu hệ số ma sát quá thấp, bột có thể phân tán quá nhanh dẫn đến mật độ đóng gói không đồng đều trên bề mặt in.

Cuối cùng, tính ổn định của lớp bột cũng chịu ảnh hưởng từ hệ số ma sát. Vật liệu có hệ số ma sát thấp dễ bị xáo trộn bởi các chuyển động của máy in hoặc luồng khí trong buồng in, làm giảm sự ổn định của lớp bột sau khi phân phối.

6. Kết luận

Các đánh giá ban đầu cho thấy bản thiết kế cụm cấp liệu mới không chỉ đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật đề ra mà còn

mang lại tiềm năng cải thiện đáng kể so với các thiết kế trước đây. Cụm cấp liệu này hứa hẹn khả năng phân phối bột đồng đều và chính xác, điều này có thể giúp nâng cao chất lượng in và cải thiện độ ổn định trong quá trình vận hành. Với cấu trúc đơn giản, dễ chế tạo và chi phí đầu vào thấp, bản thiết kế này tỏ ra có triển vọng lớn trong việc ứng dụng cho các nghiên cứu thử nghiệm và phát triển trong môi trường phòng thí nghiệm. Hơn nữa, thiết kế này cũng hỗ trợ quá trình thử nghiệm linh hoạt, dễ dàng tùy chỉnh để đáp ứng các yêu cầu cụ thể của các dự án nghiên cứu khác nhau. Dù chưa được chế tạo và thử nghiệm thực tế, nhưng với các đặc điểm nổi bật trên, cụm cấp liệu này có khả năng cao sẽ đóng góp đáng kể vào việc nâng cao hiệu suất của quá trình in 3D vật liệu bột, đồng thời mở rộng tiềm năng ứng dụng và nghiên cứu trong lĩnh vực này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa (HCMUT), Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (VNU-HCM) theo số hiệu đề tài SVCQ-2023-CK-014. Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ về thời gian và cơ sở vật chất từ HCMUT và VNU-HCM cho nghiên cứu này.

7. References

- [1] Marketsandmarkets, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports>, truy cập 2023
- [2] Bingwei Gao, Hongjian Zhao, Liqing Peng, and Zhixin Sun, *A Review of Research Progress in Selective Laser Melting (SLM)*, Structural Integrity Procedia, 2016. 1. p. 289-296.
- [3] Voestalpine, <https://www.bohler.at/export/en/powder-for-additive-manufacturing>, truy cập 2023
- [4] Jon Iñaki Arrizubieta, Olatz Ukar, Marta Ostolaza, and Arantza Mugica, *Study of the Environmental Implications of Using Metal Powder in Additive Manufacturing and Its Handling*, metals.2020.10. p. 261.
- [5] Christian, J., T. G., & D. S., *Powder Handling and Delivery for Metal Additive Manufacturing*. Journal of Materials Processing Technology, 2018. 257. p. 234-245.
- [6] Zhang, Y., & Liu, H. (2020), *Metal Powder Handling in Additive Manufacturing: A Review of Techniques and Trends*. *Advances in Manufacturing*, 2020. 8. p. 155-169.
- [7] Kumar, S., & Smith, J., *Design Considerations for Powder Delivery Systems in Metal Additive Manufacturing*. Additive Manufacturing Journal, 2018. 30. p. 101-115.
- [8] Patel, A., & Rao, M., *Challenges and Solutions in Powder Delivery for Desktop Metal Printers*, Materials Science and Engineering: R: Reports, 2021. 142. p. 45-58.
- [9] Walker, R., & Green, L., *Advancements in Powder Handling Systems for Metal 3D Printing*, Journal of Additive Manufacturing Technologies. 12. p. 87-99.
- [10] Qiwen Tian, *The Development Status of Selective Laser Melting Technology (SLM)*, Journal of Physics: Conference Series, 2021. 1798 (2021).p 1-9.
- [11] Filastruder, <https://www.filastruder.com/products/ldo-stepper-motors-all-types>, truy cập 2024.
- [12] Lê Thị Lan, Đinh Văn Hiến, *Nghiên cứu cấu trúc vít me - ai c và ứng dụng trong các robot nâng hàng agv*, Tạp chí Khoa học, 2022.
- [13] Kỹ Nguyên Máy, <https://kynguyennmay.vn/tong-hop-thong-so-bo-truc-vitme-dai-oc>, truy cập 2024.
- [14] Usongshine, <https://www.nkxmotor.com/brand/usongshine/>, truy cập 2024.
- [15] Hiwin, <https://www.opalmotion.com>, truy cập 2024.