

Khảo sát quá trình chế tạo bột in 3D kim loại bằng phương pháp phân tán hợp kim nóng chảy sử dụng ly tâm kết hợp khí cao áp

Nguyễn Tiến Mạnh¹, Đoàn Văn Phúc^{1*}, Ninh Đức Hà¹, Lê Minh Trí², Trần Xuân Tiến²

¹Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Số 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam;

²Phòng Quản lý KHCN, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, Số 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: doanphucspbstu@gmail.com

Nhận bài: 20/6/2024; Hoàn thiện: 15/9/2024; Chấp nhận đăng: 11/10/2024; Xuất bản: 25/10/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.98.2024.101-108>

TÓM TẮT

Phân tán hợp kim lỏng bằng ly tâm kết hợp khí cao áp là một phương pháp tương đối mới để sản xuất bột in 3D kim loại. Bản chất của phương pháp này là sử dụng một đĩa ly tâm tạo phân tán sơ cấp nhằm làm tăng năng lượng bề mặt riêng cho kim loại lỏng. Ở cuối giai đoạn phân tán sơ cấp kim loại lỏng sẽ có dạng một màng mỏng hình nón, sau đó tiếp tục được phân tán bằng các tia khí đồng tâm để tạo ra các giọt hình cầu có kích thước nhỏ hơn. Bột kim loại chế tạo bằng phương pháp này sẽ có kích thước nhỏ mịn và hạn chế được hạt vệ tinh (các hạt nhỏ bám trên bề mặt hạt lớn) nhờ giảm được lưu lượng khí quán trong buồng phân tán. Trong nghiên cứu này, các khảo sát thực nghiệm được tiến hành trên hợp kim nhôm mangan $AlSi_{10}Mg$. Bột kim loại sau khi chế tạo được khảo sát các chỉ tiêu kỹ thuật tương ứng đối với bột in 3D kim loại như thành phần hóa học, phân bố cỡ hạt, cấu trúc hình thái học, ... Các kết quả khảo sát đã xác định được ảnh hưởng của các thông số hình học và công nghệ của quá trình phân tán, bao gồm lưu lượng kim loại lỏng, độ quá nhiệt của kim loại lỏng và một vài thông số kết cấu khác của thiết bị.

Từ khóa: In 3D; Bột kim loại; $AlSi_{10}Mg$; Thiết bị phân tán.

1. MỞ ĐẦU

Sự phát triển của khoa học công nghệ thường kéo theo những yêu cầu ngày càng khắt khe đối với vật liệu sử dụng. Một ví dụ điển hình là công nghệ in 3D. Hiện nay, trở ngại chính của việc triển khai rộng rãi công nghệ này vào sản xuất chính là giá thành bột kim loại – nguyên liệu đầu cho in 3D là rất cao, do chúng phải đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật hết sức nghiêm ngặt: 1. Cỡ hạt tập trung cao với kích thước hạt từ 10 đến 150 μm ; 2. Biên dạng hạt hình cầu; 3. Thành phần hóa học xác định [1, 2]. Giải pháp cho vấn đề này là làm chủ công nghệ chế tạo bột in 3D kim loại. Theo công trình [2-4, 14], trên 90% bột kim loại phục vụ cho mục đích in 3D được chế tạo bằng phương pháp phân tán hợp kim lỏng với tác nhân phân tán là khí trơ, lực ly tâm hoặc các biến thể của hai phương pháp trên. Trong nghiên cứu này, ly tâm và khí cao áp được kết hợp sử dụng. Đây là phương pháp chế tạo bột kim loại còn tương đối mới, tuy nhiên đã thể hiện tính lưỡng dụng cao, cho phép chế tạo được bột của các vật liệu có bản chất khác nhau, bao gồm cả các vật liệu có độ nhớt cao, sức căng bề mặt thấp hoặc mật độ thấp [3, 4], ... Bản chất của phương pháp này là sử dụng một đĩa quay ly tâm tạo phân tán sơ cấp cho kim loại lỏng nhằm làm tăng năng lượng bề mặt riêng của chúng. Kim loại lỏng ở cuối giai đoạn phân tán sơ cấp theo quán tính sẽ di chuyển đến khu vực làm việc của khí phân tán, tiếp tục bị phân tán bởi các dòng khí ở trạng thái động lượng và áp suất cao (phân tán thứ cấp). Mặc dù công nghệ phân tán hợp kim nóng chảy đã được sử dụng trong sản xuất bột kim loại từ những năm 60, việc nghiên cứu quá trình chuyển động và phân tán các dòng kim loại ở nhiệt độ cao, đồng thời xây dựng mối quan hệ giữa các thông số hình học của thiết bị và các thông số công nghệ của quá trình phân tán với các đặc tính của bột kim loại tạo thành vẫn là một vấn đề cấp thiết, được nghiên cứu cho đến hiện nay [1, 2, 10, 11].

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Nghiên cứu sử dụng hợp kim nhôm mangan $AlSi_{10}Mg$ do Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện

kim/Bộ Công thương cung cấp. Thành phần hoá học của hợp kim nhôm AlSi₁₀Mg được trình bày trên bảng 1.

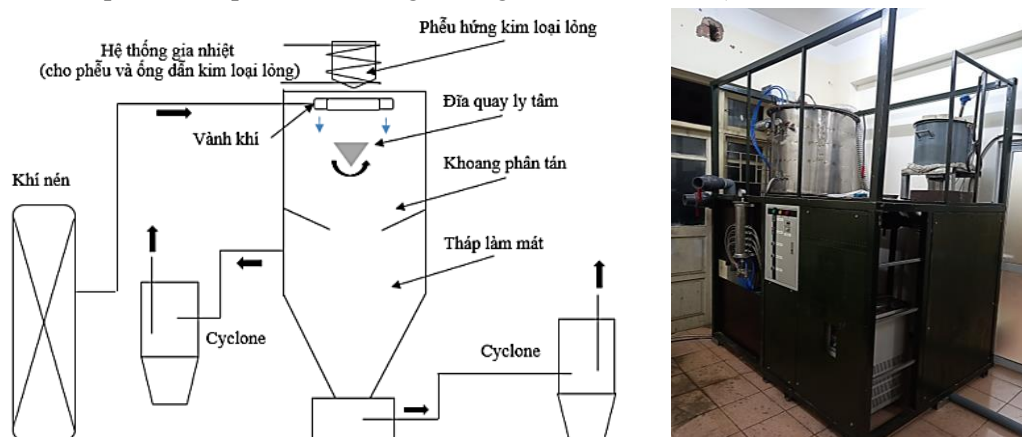
Bảng 1. Thành phần hoá học của hợp kim nhôm AlSi₁₀Mg.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Ave, %	9,9811	0,5273	0,0276	0,3495	0,3772	0,0473	0,0483	0,0988
	Ti	Bi	Co	Ga	Sn	Pb	Be	Al
Ave, %	0,1202	0,0378	0,0415	0,0297	0,0449	0,0870	0,0500	87,8774

Khí phân tán sử dụng trong các nghiên cứu là khí Argon tinh khiết 99,999% được bán sẵn dưới dạng bình nén dung tích 40 L, áp suất 150 bar.

2.2. Thiết bị chế tạo

Quá trình phân tán hợp kim lỏng được thực hiện trên thiết bị chế tạo bột in 3D kim loại sử dụng ly tâm kết hợp khí cao áp do nhóm tác giả tự nghiên cứu, chế tạo (hình 1).



Hình 1. Sơ đồ công nghệ và hình ảnh thực tế của thiết bị chế tạo bột in 3D kim loại.

Các thông số kỹ thuật của thiết bị được trình bày tại bảng 2.

Bảng 2. Bộ thông số kỹ thuật của thiết bị chế tạo bột in 3D kim loại.

Thông số kỹ thuật	Mức
Thể tích lò nung, lít	2
Độ chân không tối đa, mm Hg	- 600
Nhiệt độ làm việc của lò nung, °C	300 ÷ 1100
Áp suất khí phân tán, atm, không nhỏ hơn	24
Lưu lượng khí phân tán, m ³ /phút	~ 0,95

2.3. Các thông số thực nghiệm

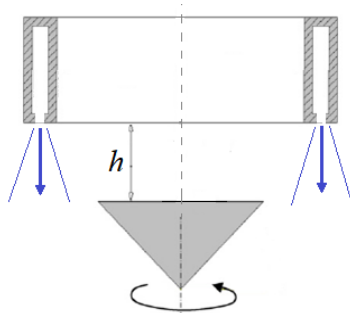
Trong nghiên cứu này các tham số thực nghiệm của quá trình chế tạo bột kim loại được khảo sát bao gồm:

- *Nhiệt độ phân tán.* Theo các số liệu công bố trên công trình [1, 2, 5], nhiệt độ phân tán sẽ lớn hơn nhiệt độ nóng chảy của kim loại từ 100 đến 200 °C. Đối với hợp kim nhôm mác AlSi₁₀Mg có nhiệt độ nóng chảy là 590 °C, dải nhiệt độ phân tán sẽ khảo sát trong khoảng từ 700 đến 900 °C.

- *Lưu lượng kim loại lỏng.* Thông số này sẽ được điều chỉnh thông qua việc thay đổi đường kính trong của ống dẫn kim loại lỏng d với giá trị lần lượt là 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm và 7 mm;

- *Khoảng cách h từ mặt trên của đĩa quay ly tâm đến mặt thoát khí của béc phun* (hình 2). Khoảng cách h phù hợp sẽ giúp kim loại lỏng sau khi phân tán sơ cấp sẽ di chuyển đến vị trí động năng của khí phân tán lớn nhất, giúp tăng hiệu quả của phân tán thứ cấp. Theo kết quả mô phỏng

đã công bố tại công trình [9] của nhóm tác giả, khoảng cách h từ 1 đến 1,5 cm sẽ cho hiệu quả phân tán tốt nhất. Trong nghiên cứu này, các khảo sát thực nghiệm sẽ được tiến hành với khoảng cách h lần lượt là 0,5; 1; 1,5; 2 và 3 cm.



Hình 2. Minh họa thông số hình học của thiết bị sản xuất bột kim loại.

Trong tất cả các thí nghiệm, tốc độ quay của đĩa ly tâm là 15 000 vòng/phút, áp suất và lưu lượng khí phân tán lần lượt là 24 atm và 0,95 m³/phút. Tiêu chí đánh giá ảnh hưởng của các thông số này là cấu trúc hình thái học, thành phần cỡ hạt và hiệu suất quá trình phân tán bột kim loại.

2.4. Phương pháp nghiên cứu tính chất bột kim loại

- Cấu trúc hình thái hạt kim loại: Xác định bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét SEM (Scanning Electron Microscope) theo tiêu chuẩn GOCT 25849-83.

- Kích thước và phân bố phân bố cỡ hạt: Xác định bằng 2 phương pháp: Phương pháp đo không trực tiếp trên bộ sàng tiêu chuẩn theo GOST 18318-94 và phương pháp đo trực tiếp trên thiết bị phân tích cỡ hạt dựa trên hiện tượng tán xạ Laser (LSD) theo tiêu chuẩn ASTM D4464-15;

Ngoài ra, thành phần hóa học của bột kim loại AlSi₁₀Mg được xác định theo tiêu chuẩn ASTM E1621-21 bằng phương pháp quang phổ huỳnh quang tia X (XRF).

2.5. Phương pháp chế tạo mẫu

Quy trình chế tạo bột nhôm mág AlSi₁₀Mg được tiến hành với các bước chính như sau:

- *Nấu chảy kim loại:* Hợp kim nhôm mág AlSi₁₀Mg được nấu chảy hoàn toàn ở nhiệt độ khảo sát (từ 700 đến 900 °C). Thời gian giữ nhiệt tính từ khi đạt nhiệt là 20 phút;

- *Chuẩn bị thiết bị:* Đóng tất cả các van, làm kín thiết bị. Hút chân không, loại bỏ không khí khỏi thiết bị. Bơm khí Ar điền đầy thiết bị. Bật động cơ (gắn với đĩa quay ly tâm), tốc độ quay 15 000 vòng/phút. Bật hệ thống gia nhiệt đường ống dẫn kim loại lỏng. Mở các van tại đầu ra của các cyclone, đồng thời tăng lưu lượng khí trợ vào buồng phân tán;

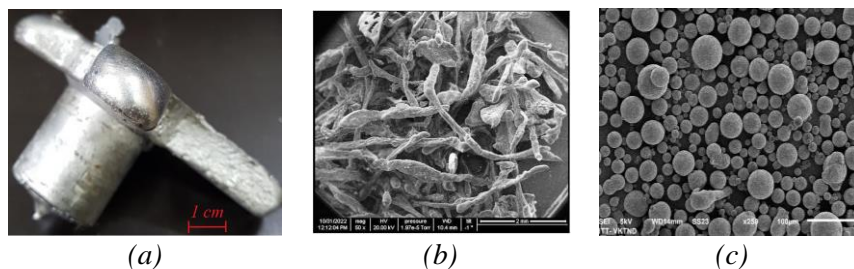
- *Phân tán kim loại lỏng:* Rót kim loại lỏng vào phễu. Dưới tác dụng của trọng lực, kim loại lỏng chảy theo ống dẫn xuống buồng phân tán, bị phân tán bởi lực ly tâm do đĩa quay gây ra, sau đó tiếp tục bị phân tán bởi các dòng khí trợ, tạo thành các giọt kim loại lỏng. Tại khoang làm mát, các giọt kim loại lỏng này kết tinh, tạo thành bột kim loại với kích thước và hình dạng xác định.

- *Phân loại và đóng gói bột kim loại:* Bột kim loại chế tạo ra được phân loại theo cỡ hạt thông qua bộ sàng tiêu chuẩn tại đáy thiết bị và được bảo quản trong các hộp kín.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ kim loại lỏng

Ảnh hưởng của nhiệt độ được khảo sát trước tiên thông qua cấu trúc hình thái học của bột kim loại thu được sau sản xuất. Các thông số khác của quá trình phân tán: Lưu lượng kim loại lỏng 0,25 kg/phút, khoảng cách từ mặt trên của đĩa quay ly tâm đến mặt thoát khí của béc phun $h = 1,5$ cm. Kết quả chụp ảnh SEM bột kim loại thu được ở các nhiệt độ phân tán khác nhau được trình bày trên hình 3.

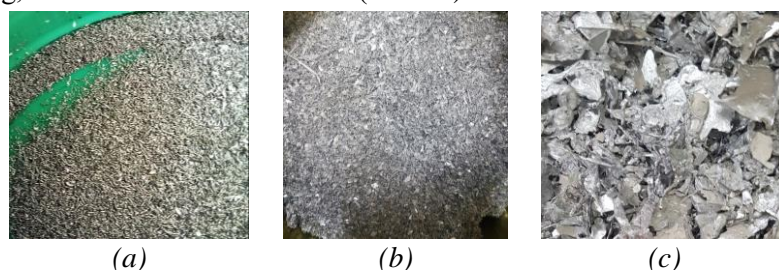


Hình 3. Ảnh SEM bột kim loại thu được ở các nhiệt độ phân tán khác nhau.

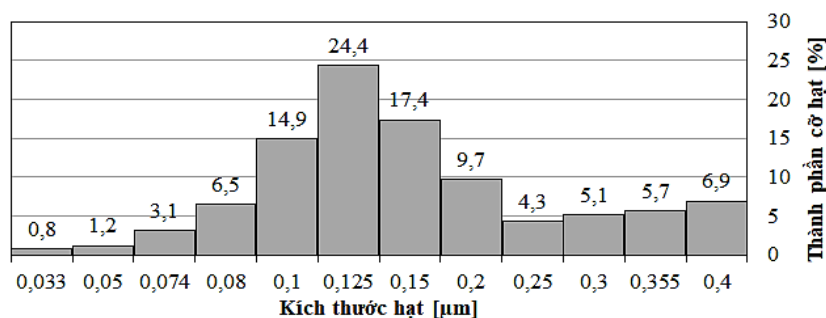
Từ ảnh SEM tại hình 3, nhận thấy ở nhiệt độ 700 °C kim loại lỏng có độ nhớt cao, sau khi rót vào phễu, kim loại lỏng không chảy xuống ống dẫn kim loại lỏng, dẫn đến hiện tượng phân tán không xảy ra được (hình 3a). Ở nhiệt độ (770 ÷ 830) °C bột kim loại thu được có dạng hình que với chiều dài lên đến 2 mm. Nguyên nhân có thể do ở dải nhiệt độ này, kim loại lỏng có độ nhớt và sức căng bề mặt lớn, kim loại lỏng bị đông tụ và kết tinh trước khi được phân tán và cầu hoá dưới tác dụng của sức căng bề mặt. Khi tăng nhiệt độ kim loại lỏng, biên dạng hạt kim loại thu được có xu hướng cầu hóa dần. Ở nhiệt độ 900 °C khoảng 99% bột kim loại kích thước hạt nhỏ hơn 100 µm có biên dạng hình cầu (hình 3c). Nhiệt độ này của kim loại lỏng sẽ được sử dụng trong các nghiên cứu tiếp theo.

3.2. Ảnh hưởng của lưu lượng kim loại lỏng

Các điều kiện khác của quá trình phân tán gồm: Nhiệt độ kim loại lỏng khi phân tán 900 °C; khoảng cách từ đĩa quay ly tâm đến mặt thoát khí của béc phun $h = 1,5$ cm. Kết quả khảo sát cho thấy trong trường hợp đường kính trong của ống dẫn kim loại lỏng là 6 hoặc 7 mm, khoảng 10 đến 12% khối lượng là các sản phẩm dạng bột với kích thước hạt nhỏ hơn 0,4 mm (hình 4a); từ 25% ÷ 27% khối lượng sản phẩm thu được có dạng vảy mỏng, kích thước dưới 2 mm (hình 4b); số còn lại là các tấm mỏng, kích thước lên đến 1 ÷ 2 cm (hình 4c).



Hình 4. Hình ảnh các dạng sản phẩm của quá trình phân tán hợp kim lỏng AlSi₁₀Mg.

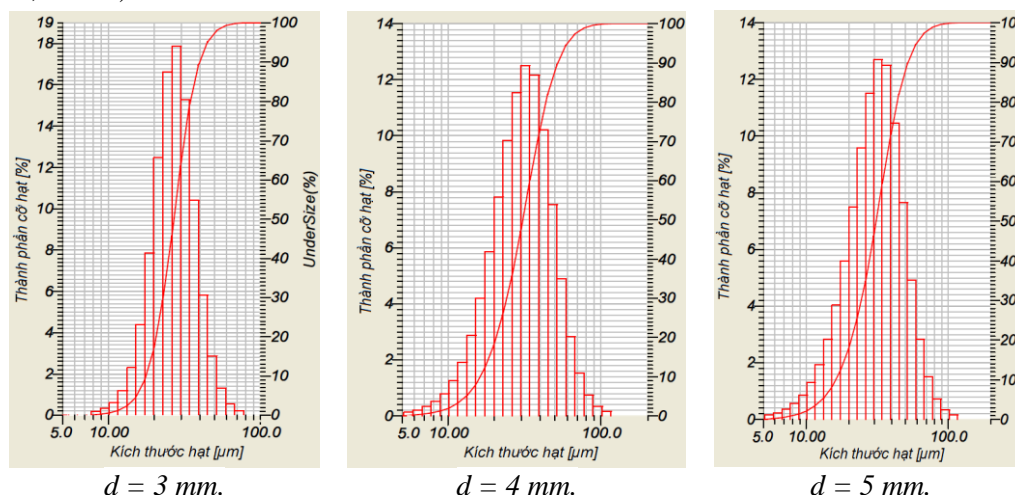


Hình 5. Phân bố cỡ hạt nhóm bột kim loại kích thước nhỏ hơn 0,4 mm.

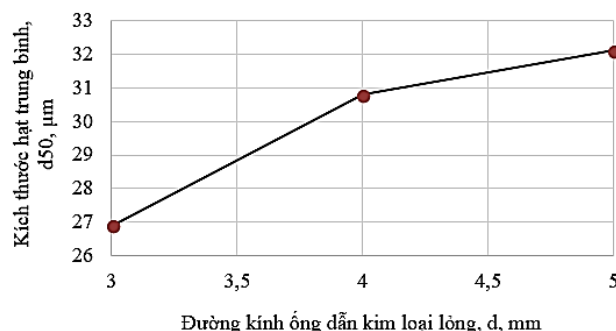
Trong trường hợp đường kính trong của ống dẫn kim loại có giá trị từ 3 ÷ 5 mm, số lượng các tấm mỏng kích thước 1 ÷ 2 cm giảm đáng kể, tuy nhiên số lượng các mảnh nhỏ vẫn còn tương đối nhiều. Số lượng bột kim loại có kích thước hạt nhỏ hơn 0,4 mm chiếm lần lượt là 47,3%; 32,6%

và 28,4% so với tổng khối lượng kim loại. Phân bố cỡ hạt của bột kim loại nhóm này là tương đối giống nhau đối với cả ba trường hợp (hình 5).

Kết quả chụp ảnh SEM bột kim loại có kích thước nhỏ hơn 100 μm cho thấy có trên 90% bột kim loại thu được có biên dạng hình cầu chuẩn. Hàm lượng bột kim loại nhóm này lần lượt là 11,6%; 8,3% và 5,2% tương ứng với đường kính trong ống dẫn là 3 mm; 4 mm và 5 mm. Kết quả xác định phân bố cỡ hạt bằng phương pháp tán xạ laser cho thấy nhóm bột kim loại chế tạo bằng ống dẫn kim loại lỏng 3 mm có phân bố cỡ hạt hẹp hơn và kích thước hạt trung bình d_{50} nhỏ hơn (hình 6, hình 7).



Hình 6. Phân bố cỡ hạt nhóm bột kim loại có kích thước hạt nhỏ hơn 100 μm .



Hình 7. Sự phụ thuộc kích thước hạt trung bình vào đường kính ống dẫn kim loại lỏng.

Tiếp tục giảm kích thước ống dẫn kim loại lỏng xuống dưới 3 mm nhằm giảm lưu lượng kim loại lỏng, tuy nhiên không cho kết quả khả quan. Nguyên nhân là do hợp kim lỏng có độ nhớt khá cao, sức căng bề mặt làm cản trở chuyển động đi xuống của khối kim loại lỏng, dẫn đến quá trình phân tán không diễn ra được. Đường kính trong của ống dẫn kim loại là 3 mm sẽ được sử dụng trong các nghiên cứu tiếp theo.

3.3. Ảnh hưởng của khoảng cách giữa đĩa quay ly tâm và béc phun khí phân tán

Khoảng cách h từ mặt trên của đĩa quay ly tâm đến mặt thoát khí của béc phun đóng vai trò hết sức quan trọng đến hiệu quả phân tán. Khoảng cách h được coi là phù hợp khi kim loại lỏng sau khi được phân tán bởi đĩa quay ly tâm sẽ nằm ở khu vực mà tại đó khí phân tán có động năng cực đại, từ đó cho hiệu quả phân tán thứ cấp tốt nhất. Dựa trên các kết quả mô phỏng, khoảng cách h được khảo sát trong khoảng từ 0,5 đến 3 cm. Các điều kiện khác của quá trình phân tán như sau: nhiệt độ phân tán 900 $^{\circ}\text{C}$, tốc độ quay của đĩa quay ly tâm là 15 000 vòng/phút; lưu lượng và áp suất khí phân tán lần lượt là 24 atm và 0,96 $\text{m}^3/\text{phút}$; đường kính của ống dẫn kim loại là 3 mm.

Kết quả khảo sát cho thấy, ở khoảng cách $h = 0,5$ cm các giọt kim loại lỏng sau khi phân tán bởi lực ly tâm do đĩa quay gây ra có hiện tượng bám dính và tích tụ dần ở phía dưới mặt trong của vành khí. Sau khoảng 1,5 phút phân tán, sự bám dính và tích tụ này lớn đến mức làm đĩa quay ly tâm ngừng hoạt động (hình 8).



Hình 8. Sự tích tụ của kim loại lỏng tại vành khí phân tán (với $h = 0,5$ cm).



Hình 9. Sự tích tụ của kim loại lỏng tại vành khí phân tán và ống đồng gia nhiệt ($h = 1$ cm).

Với khoảng cách $h = 1$ cm, hiện tượng ngừng hoạt động của đĩa quay ly tâm không xảy ra, tuy nhiên trên mặt đĩa phân tán và đặc biệt là ở mặt dưới của các ống đồng gia nhiệt vẫn xuất hiện một lượng tương đối lớn kim loại lỏng bị tích tụ lại (hình 9).

Với khoảng cách h từ 1,5 đến 2 cm, quá trình phân tán cho kết quả tương đối giống nhau với tỷ lệ bột kim loại có kích thước nhỏ hơn 0,4 mm chiếm từ 44 đến 47% tổng khối lượng kim loại phân tán; số lượng bột kim loại hình cầu có kích thước dưới 100 μm chiếm khoảng 10% bột kim loại thu được.

Với khoảng cách $h = 3$ cm, hiệu suất của quá trình phân tán giảm mạnh. Tỷ lệ bột kim loại có kích thước nhỏ hơn 0,4 mm chỉ chiếm khoảng 21% tổng khối lượng kim loại. Số lượng bột kim loại có kích thước dưới 100 μm chiếm khoảng 0,8% bột kim loại thu được. Quan sát buồng phân tán, nhận thấy phần lớn các giọt kim loại lỏng bị bám dính và đông tụ trên thành buồng sau khi bị phân tán sơ cấp. Vị trí bám dính trên thành buồng có độ cao tương đương với độ cao của mặt trên đĩa quay ly tâm. Từ đó có thể dự đoán, ở khoảng cách $h = 3$ cm, động năng của khí không đủ mạnh để phân tán và làm đổi hướng chuyển động của các giọt kim loại lỏng, dẫn đến phần lớn kim loại lỏng sau khi phân tán sơ cấp bởi đĩa quay ly tâm đều đập vào thành buồng phân tán (hình 10).



(a)



(b)

Hình 10. Hiện tượng bám dính và tích tụ kim loại trên thành buồng phân tán ($h = 3$ cm):
a - Buồng phân tán; b - Màng kim loại đông tụ trên thành buồng.

3.4. Thành phần hóa học bột kim loại sau khi chế tạo

Thành phần hoá học của bột kim loại sau khi chế tạo được khảo sát theo tiêu chuẩn ASTM E1621-21 bằng phương pháp quang phổ huỳnh quang tia X. Kết quả được chỉ ra trên bảng 3.

Bảng 3. Thành phần hoá học bột kim loại sau khi chế tạo.

STT	Tên nguyên tố	Đơn vị	Kết quả
1	Al	%	89,474
2	Si	%	9,133
3	Fe	%	0,264
4	Cu	%	0,0076
5	Mn	%	0,306
6	Mg	%	0,280
7	Zn	%	0,0082
8	Ni	%	0,0148
9	Ti	%	0,101
10	Sn	%	0,0028
11	Pb	%	0,0016
12	Tạp khác (Tổng)	%	0,410

So sánh thành phần hoá học của bột kim loại sau khi chế tạo với thành phần hoá học của nguyên liệu đầu vào, nhận thấy hàm lượng các nguyên tố hoá học trong bột nhôm và trong mẫu nhôm đúc cơ bản tương đương nhau. Bên cạnh sự thay đổi thành phần một số nguyên tố (do cháy hao hoặc do sai số của phép đo), hàm lượng của các nguyên tố chính trong hợp kim là Si, Mg, Mn và Fe vẫn nằm trong ngưỡng phù hợp với tiêu chuẩn quy định về thành phần hoá học của bột in 3D kim loại mác AlSi₁₀Mg [7].

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, trên cơ sở các kết quả khảo sát thực nghiệm, sử dụng bộ thiết bị chế tạo bột in 3D kim loại do nhóm tác giả tự nghiên cứu chế tạo, đã tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một vài tham số công nghệ - kết cấu chính của thiết bị và quá trình phân tán đến cấu trúc hình thái học, thành phần cỡ hạt và hiệu suất quá trình phân tán kim loại lỏng. Kết quả khảo sát cho thấy nhiệt độ kim loại lỏng khi phân tán có vai trò quyết định đến biên dạng hạt kim loại tạo thành, trong khi đó hiệu suất của quá trình phân tán lại chịu ảnh hưởng rất lớn của lưu lượng kim loại lỏng. Các tham số công nghệ và thông số kết cấu chính đã xác định được gồm:

- + Nhiệt độ hợp kim lỏng khi phân tán: 900 °C;
- + Đường kính của ống dẫn kim loại lỏng: 3 mm;
- + Khoảng cách từ mặt trên của đĩa quay ly tâm đến mặt thoát khí của béc phun: $h = 1,5 \div 2$ cm;

Các kết quả nghiên cứu trong bài báo này là cơ sở khoa học và thực tiễn quan trọng để nhóm tác giả hoàn thiện thiết bị và công nghệ chế tạo bột in 3D kim loại mác AlSi10Mg cũng như bột in 3D kim loại trên cơ sở các hệ kim loại khác, từng bước tạo tiền đề cho việc làm chủ công nghệ chế tạo các loại bột in 3D kim loại đặc thù, sử dụng làm nguyên liệu đầu trong chế tạo các chi tiết của VKTBKT bằng công nghệ in 3D.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S.A. Oglezneva, A.A. Smetkin, V.I. Mitin, K.V. Kalinin. "Influence of melt atomization parameters on technological characteristics of 12Kh18N10T grade powder". Mechanical engineering, materials science. V.19b No. 4, pp. 122-138, (2017). DOI: 10.155-93/2224-9877/2017.4.09.
- [2]. Sentyurina Zh. A., "Obtaining spherical powders from alloys based on nickel aluminide NiAl for additive technologies", Thesis for the degree of candidate of technical sciences. (2016).
- [3]. C. Czisch, H. Lohner, U. Fritsching, K. Bauckhage, A. Edlinger, in: K. Bauckhage, U. Fritsching, J. Ziesenis, A. Uhlenwinkel, A. Leatham (Eds.), Proc. Spray Deposition and Melt Atomization Conference SDMA, Bremen, Univ. Bremen, (2003).
- [4]. Udo Fritsching, Volker Uhlenwinke. "Hybrid Gas Atomization for Powder Production. Powder

- Metallurgy*”, (2012). DOI:10.5772/35807.
- [5]. Nechiporenko, O.S. “*Atomized metal powders*”/ O.S. Nechiporenko, Yu.I. Naida, A.B. Medvedovsky. - Kyiv: Nauk. Dumka, 240 p, (1980).
- [6]. Bin Liu, Bao-Qiang Li, Zhonghua Li, “*Selective laser remelting of an additive layer manufacturing process on AlSi10Mg*”, (2018). DOI: 10.1016/j.rinp.2018.12.018;
- [7]. Christopher M. Laursen, Stephanie A. DeJong, Andrea N. Exil, “*Relationship between ductility and the porosity of additively manufactured AlSi10Mg*”, *Materials Science and Engineering A*, (2020). DOI: 10.1016/j.msea.2020.139922
- [8]. Nizhenko V.I., Floka L.I. “*Surface tension of liquid metals and alloys (one- and two-component systems): Handbook*”. M.: Metallurgy. 208s, 91981).
- [9]. Van Phuc, D., Van Quang, V., Thang, V.T. (2023). “*Research and Fabrication of Metal Powder Dispersing Equipment for 3D Printing Technology*”. Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, (2022). https://doi.org/10.1007/978-3-031-31824-5_5
- [10]. Установка центробежно-газового распыления металлического расплава// Патент РФ № 158556. (2015). Агеев С. В., Гиршов В. Л. [и др.].
- [11]. Установка для распыления жидких металлов// Патент РФ № 133445 U1. (2013). Сафонов Е. В., Бромер К. А. [и др.].

ABSTRACT

Investigation of the fabrication process of metal 3D printed powder by molten alloy dispersion method using centrifugation and high-pressure gas

Atomization using centrifugation and high-pressure gas is considered to be a relatively new method of producing metal 3D printing powders. The metal powder made by this method is expected to obtain an adequate small-scaled size with the limitation of satellites stuck to the surface due to the reduction of the gas flow in the dispersion chamber. This work conducted experimental studies with aluminum alloy graded AlSi₁₀Mg. The manufactured metal powder was tested for corresponding technical properties of metal 3D printing powder, such as chemical composition, particle size distribution, morphological structure, etc. The investigation results have determined the influence of geometrical and technological parameters of the atomization process, including liquid metal flow, liquid metal overheating, and some structural parameters of equipment on the quantity and quality of the product.

Keywords: 3D printing; Metal powder; AlSi₁₀Mg; Atomiser.