

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG LỚP BỀ MẶT CỦA CÁC SẢN PHẨM ĐƯỢC TẠO RA BẰNG PHƯƠNG PHÁP SLM TỪ HỢP KIM CHỊU NHIỆT

OVERVIEW STUDY OF ASSESSING METHODS FOR THE SURFACE QUALITY OF PRODUCTS CREATED BY SLM METHOD FROM HEAT RESISTANT ALLOYS

ThS, NCS. **Tô Mạnh Hùng**^{1,2,*}, GS, TS. **Ovchinnikov Viktor Vasilyevich**²,
TS. **Trần Văn Tường**¹, TS. **Levina Tatiana Anatolyevna**²,
TS. **Adylina Anna Petrovna**², SV. **Glukhikh Yakov Mikhailovich**²

¹Khoa Cơ điện và Công trình, Trường Đại học Lâm nghiệp

²Trường Đại học Bách khoa Moscow

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu tổng quan về các phương pháp cần thiết để đánh giá chất lượng bề mặt của các sản phẩm kim loại đặc trưng cho công nghệ nấu chảy bằng laser có chọn lọc (phương pháp SLM) từ các hợp kim chịu nhiệt, được đánh giá là có triển vọng nhất để sử dụng trong ngành công nghiệp máy bay. Mặc dù phương pháp này có những ưu điểm rõ ràng, nhưng cũng rất khó dự đoán các đặc tính của các sản phẩm được chế tạo vì có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt của nó. Kết quả tổng hợp và phân tích một số nghiên cứu đã được công bố cho thấy khả năng phát triển các tham số khi kết hợp về mặt toán học và vật lý để đánh giá chất lượng sản phẩm thu được bằng phương pháp SLM khi gia công các sản phẩm từ hợp kim chịu nhiệt.

Từ khóa: Công nghệ phụ gia; Phương pháp SLM; Chất lượng lớp bề mặt.

ABSTRACT

This paper presents the results of an overview study on the methods to evaluate the surface layer quality of metal products by selective laser smelting (SLM method) from heat-resistant alloys. This method is considered the most promising for use in the aircraft industry. Although the SLM method has obvious advantages, it is also difficult to predict product properties due to many factors affecting its surface layer quality. The results of synthesis and analysis of a number of studies show the possibility of developing parameters by combining mathematics and physics to evaluate product quality obtained by SLM method in machining heat-resistant alloy products.

Keywords: Additive technology; SLM method; Surface layer quality.

1. MỞ ĐẦU

Việc ứng dụng công nghệ sản xuất hiện đại vào các lĩnh vực quan trọng của cuộc sống gắn bó chặt chẽ với sự phát triển của các ngành công nghiệp công nghệ cao và tiến bộ khoa học. Trong lĩnh vực gia công cơ khí, phương pháp nấu chảy bằng laser có chọn lọc (Selective Laser Melting - SLM) trong công nghệ in 3D cho phép chế tạo các chi tiết có hình dạng hình học phức tạp mà phương pháp truyền thống rất khó có thể làm được. Phương pháp này áp dụng cho nhiều loại vật liệu khác nhau và quá trình sản xuất các bộ phận có thể được triển khai ngay sau khi sản phẩm được thiết kế [1].

Những năm gần đây, đã xuất hiện một số lượng lớn các công trình nghiên cứu về thiết bị và công nghệ SLM. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy cấu trúc cũng như các đặc tính của các chi tiết được gia công bằng phương pháp này phụ thuộc vào nhiều thông số công nghệ như: công suất laser, tốc độ, bước và hướng quét, thành phần và kích thước bột, v.v [2, 3]. Việc áp dụng phương pháp SLM vào sản xuất có thể làm giảm đáng kể sự phân tách không đồng nhất vật liệu của các sản phẩm làm bằng hợp kim chịu nhiệt [4, 5]. Tuy nhiên, công nghệ này dựa trên kỹ thuật dung hợp bột, sử dụng chùm tia laser để thiêu kết bột hợp chất theo từng vị trí để tạo ra chi tiết theo từng lớp, từng lớp một. Do đó, các lớp vật liệu này cũng có thể bị tách rời nhau dưới những tác dụng của ứng suất hoặc lực tác dụng nhất định. Ngoài ra, khi lớp bề mặt cứng lại, các bộ phận có xu hướng co lại gây ra ứng suất dư đáng kể trong các sản phẩm được chế tạo. Những ứng suất dư này có thể dẫn đến biến dạng và thậm chí phá hủy bề mặt. Vì vậy, trong quá trình hình thành các lớp của sản phẩm cần phải kiểm soát sự phát triển của ứng suất dư, cả trên bề mặt và thể tích của chi tiết gia công [6]. Trong lĩnh vực công nghệ hàng không, hợp kim

chịu nhiệt đóng vai trò đặc biệt quan trọng do các thiết bị thường làm việc trong điều kiện môi trường có nhiệt độ trên 1000° C. Khi làm việc, bề mặt của các chi tiết này chịu mài mòn mạnh, nhiệt độ cao nên trong nhiều trường hợp các bộ phận này bắt đầu đánh mất đi mục đích sử dụng ban đầu của chúng. Một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến sự hao mòn sớm của các bộ phận là chất lượng lớp bề mặt của các chi tiết mà nó lại chịu ảnh hưởng của phương pháp và quy trình công nghệ khi gia công [7]. Nghiên cứu của Bruno [8] cũng chứng minh rằng sai lệch kích thước khi gia công bằng phương pháp SLM là không thể tránh khỏi. Đồng thời việc làm nguội chi tiết dẫn đến co ngót và độ nhám bề mặt cao do các hạt bột bám vào cũng ảnh hưởng đến kích thước của chi tiết.

Gần đây, nhiều công trình nghiên cứu về công nghệ và vật liệu gia công của các chi tiết trong lĩnh vực hàng không bằng phương pháp SLM đã được công bố [9-11]. Tuy nhiên, một trong những thiếu sót của các công trình nghiên cứu này là chưa đi sâu vào việc đánh giá cụ thể chất lượng lớp bề mặt của các sản phẩm. Do đó, bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu tổng quan về một số phương pháp đánh giá chất lượng lớp bề mặt của các sản phẩm được tạo ra bằng phương pháp SLM từ hợp kim chịu nhiệt.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nhằm mục đích phân tích các phương pháp và công cụ đánh giá chất lượng lớp bề mặt của các sản phẩm được tạo ra bằng phương pháp SLM từ hợp kim chịu nhiệt, nghiên cứu này đã sử dụng các phương pháp nghiên cứu chủ yếu là kế thừa tài liệu, tổng hợp và phân tích một số kết quả nghiên cứu về các phương pháp và công cụ đánh giá chất lượng lớp bề mặt của các sản phẩm được tạo ra bằng phương pháp SLM từ hợp kim chịu nhiệt.

pháp SLM từ hợp kim chịu nhiệt trên thế giới và Nga đã công bố cũng như các nguồn tài liệu đáng tin cậy khác.

3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN

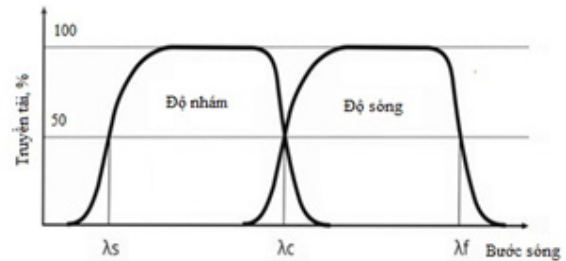
3.1. Mối quan hệ giữa các đặc tính hoạt động và chất lượng lớp bề mặt

Độ nhám bề mặt, cấu trúc, thành phần pha và thành phần hóa học của lớp bề mặt ảnh hưởng đến các đặc tính hoạt động của các bộ phận theo những cách khác nhau. Kiến thức về quy luật tác động phức tạp và riêng biệt của các thông số lớp bề mặt của các bộ phận lên các đặc tính hoạt động của chúng sẽ cho phép tối ưu hóa quy trình sản xuất các bộ phận theo công nghệ SLM.

Khi đánh giá chất lượng và khả năng hoạt động của sản phẩm, tính ổn định của các thông số chất lượng bề mặt của bộ phận được đặc biệt nghiên cứu. Đối với các bộ phận của máy bay, các đặc tính hoạt động quan trọng nhất của vật liệu là độ bền và độ bền mỏi, khả năng chống ăn mòn và khả năng chịu tải trọng động. Người ta đã chứng minh rằng độ bền mỏi của kim loại liên quan chặt chẽ đến chất lượng của bề mặt (các thông số hình học, vật lý và cơ học). Ví dụ, bề mặt không đều gây ra sự tập trung ứng suất, có thể làm giảm đáng kể độ bền mỏi của các bộ phận. Ứng suất tập trung chủ yếu ở các chỗ lõm, chỗ lõm càng sâu thì mức độ tập trung ứng suất xảy ra càng nhiều [12].

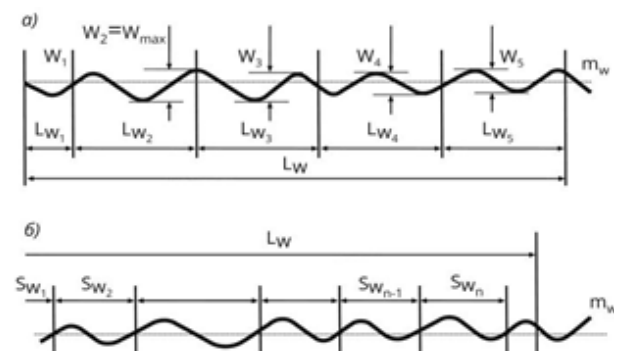
Độ sóng bề mặt là chu kỳ không bằng phẳng của bề mặt chi tiết được quan sát trong phạm vi lớn, trong khi độ nhám bề mặt là tập hợp những nhấp nhô của bề mặt chi tiết xét trong phạm vi hẹp. Hiện nay vẫn chưa có định nghĩa xác định chặt chẽ giữa độ sóng và độ nhám. Tuy nhiên, nhiều tài liệu dựa vào tỉ lệ

chiều cao nhấp nhô và bước sóng để phân biệt và xác định, thông thường người ta xác định những mấp mô có bước lớn hơn 40 là độ sóng (Hình 1).



Hình 1. Những đặc trưng chuyển giao biên dạng độ nhám và độ sóng.

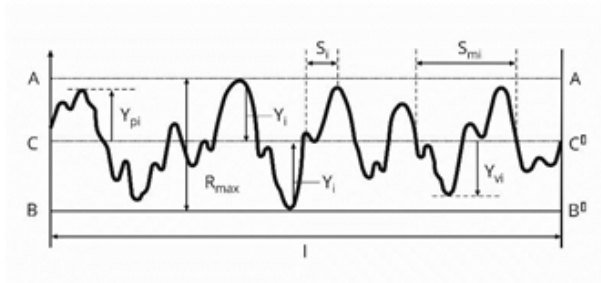
Theo tiêu chuẩn ISO, độ sóng có hai thông số được nghiên cứu là chiều cao độ sóng W và bước sóng S (Hình 2).



Hình 2. Chiều cao và các bước khi nghiên cứu độ sóng bề mặt

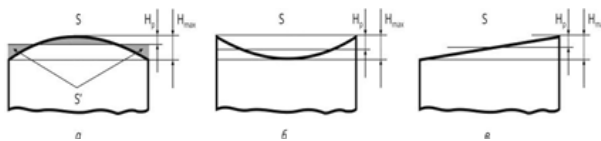
Độ nhám bề mặt thường được đánh giá qua các tiêu chuẩn chính như sai lệch profin trung bình cộng R_a ; chiều cao nhấp nhô của profin theo mười điểm R_z ; chiều cao lớn nhất các nhấp nhô của profin; R_{max} bước trung bình các nhấp nhô của profin S_m ; bước trung bình nhấp nhô của profin theo đỉnh S (Hình 3) [13]. Ngoài ra, có một số lượng đáng kể khoảng hơn 30 thông số phi tiêu chuẩn khác (R_p , R_s , R_k , ...) [14]. Thông thường, trong nhiều trường hợp các thông số độ nhám tiêu chuẩn chính thể mô tả

đầy đủ biên dạng như trong phương pháp SLM. Trong trường hợp này có thể sử dụng các đặc điểm chức năng mô tả biên dạng, chẳng hạn sử dụng dạng đường cong Abbott-Firestone.



Hình 3. Mô tả độ nhám bề mặt

Các sai lệch vĩ mô có thể quan sát được bằng mắt thường và có thể được phát hiện bằng cách xử lý toán học các biểu đồ. Độ lệch vĩ mô (Hình 4) được đặc trưng bởi H_{max} - độ lệch vĩ mô tối đa, H_p - chiều cao san bằng độ lệch vĩ mô



Hình 4. Các dạng sai lệch vĩ mô lõm, lồi và chéo

Ngoài hình ảnh vĩ mô, lớp bề mặt bị ảnh hưởng đáng kể bởi các tính chất vật lý và cơ học như là lớp biến cứng và ứng suất dư [15]. Chiều sâu của lớp biến cứng phần lớn phụ thuộc vào điều kiện hình thành của lớp bề mặt. Đối với phương pháp SLM thường là nằm trong khoảng 0,1 ... 0,25mm. Ứng suất dư trong kim loại xảy ra trong quá trình hình thành lớp bề mặt bằng phương pháp SLM vẫn còn là một vấn đề lớn trong công nghệ in 3D từ hợp kim chịu nhiệt. Đây là những ứng suất tồn tại và cân bằng bên trong trong quá trình làm nguội sản phẩm [16].

Ứng suất dư (δ_{oct}) trong lớp bề mặt vật

liệu của các chi tiết được gia công bằng phương pháp SLM được xếp vào nhóm các vấn đề khó giải quyết. Từ đó cần phân biệt ba hệ quả cơ bản khác nhau về tác động của các ứng suất này trong quá trình sử dụng sản phẩm. Thứ nhất, nếu sản phẩm đảm bảo độ cứng và giá trị của ứng suất dư vượt quá giới hạn bền của vật liệu thì trên bề mặt sản phẩm sẽ xuất hiện các vết nứt. Thứ hai, nếu ứng suất dư đủ lớn nhưng độ cứng của sản phẩm thấp thì sẽ xảy ra sự biến dạng của sản phẩm. Thứ ba, nếu sản phẩm có độ cứng cao và ứng suất dư không đạt đến giới hạn độ bền thì nguy cơ phá hủy sản phẩm vẫn còn nếu các dấu hiệu của ứng suất dư xảy ra cùng lúc [17].

Do sự đa dạng của các tham số về trạng thái của lớp bề mặt nên các phương pháp đánh giá chúng không cho phép chúng ta tìm ra một tham số duy nhất. Do đó, trong thực tiễn khoa học và kỹ thuật, trạng thái của lớp bề mặt được ước tính bằng một tập hợp các tham số đơn hoặc phức. Trong những năm gần đây những tham số phức kết hợp một số tham số riêng lẻ bằng toán học hoặc vật lý học ngày càng được sử dụng nhiều hơn.

(1) môđun đàn hồi E

Là tỷ số giữa ứng suất dưới giới hạn tỷ lệ với biến dạng tương ứng. Nó là thước đo độ cứng của vật liệu.

(2) Độ bền mỏi

Để xác định độ bền mỏi đối với một bề mặt của các chi tiết làm việc có thể sử dụng phương trình làm tham số phức để đánh giá trong quá trình in SLM:

$$C_y = \frac{140}{t_m S_m} (R_{max} - \sqrt{R_{max} R_p}) \quad (1)$$

(3) Độ cứng

Để đánh giá khả năng chịu lực của bề mặt hoặc độ cứng tiếp xúc của chi tiết có thể dùng tham số phức chất lượng lớp bề mặt của sản phẩm sau:

$$\Pi = \left(\frac{R_p^v W_p^2 H_p^2}{u_H} \right)^{1/v+4} \quad (2)$$

(4) Để đánh giá toàn diện chất lượng của bề mặt ma sát, có thể sử dụng một số tham số độ nhám bề mặt đã nêu trên bao gồm ứng suất dư bề mặt đặc trưng của giai đoạn hoàn thiện xử lý bề mặt sau khi in SLM:

$$C_x = \frac{(R_a W_z H_{max})^{1/6}}{t_m^{3/2} S_m^{1/2} u_H^{2/3} \lambda} \quad (3)$$

Trong đó λ – là hệ số ảnh hưởng của ứng suất dư bề mặt.

(5) Đối với mô hình liên kết truyền tải dọc trục hoặc mômen xoắn có thể sử dụng tham số phức đặc trưng cho mức tiêu thụ kim loại của chúng như sau:

$$C_n = R_p + W_p + H_p \quad (4)$$

Thông qua kết quả thống kê trong một số công trình nghiên cứu, các đặc tính hoạt động quan trọng nhất của các bộ phận và mức độ ảnh hưởng của các tham số chính đến chất lượng lớp bề mặt của các bộ phận được tạo ra bằng công nghệ SLM được trình bày trong Bảng 1. Kết quả cho thấy rằng các tham số khác nhau của lớp bề mặt ảnh hưởng đến các đặc tính hoạt động của các sản phẩm ở các mức độ khác nhau. Ví dụ, các tham số sai lệch vĩ mô bề mặt có ảnh hưởng lớn nhất đến các đặc tính hoạt động của các bộ phận.

Bảng 1. Mối quan hệ giữa các đặc tính hoạt động của bộ phận và các tham số chất lượng của lớp bề mặt:

Các tham số ảnh hưởng đến đặc tính hoạt động của bộ phận	Độ cứng tiếp xúc	Tính hao mòn	Độ bền mỏi	Tải trọng trục và mô men xoắn
Độ nhám, R_{max} , R_a , R_z , S_m	Trung bình	Trung bình	Mạnh	Trung bình
Độ sóng W_{max} , W_z , S_w , t_w	Trung bình	Mạnh	Yếu	Mạnh
Sai lệch vĩ mô H_{max} , H_p	Mạnh	Mạnh	Mạnh	Mạnh
Vật lý – cơ học δ_{oct} , E	Trung bình	Mạnh	Mạnh	Yếu

3.2. Các phương pháp truyền thống và hiện đại để đo chất lượng lớp bề mặt

Các phương pháp phổ biến nhất để kiểm tra trạng thái lớp bề mặt của các sản phẩm là sử dụng đầu đo tiếp xúc. Đầu đo bằng kim cương được gắn liền trên thân của máy và là bộ phận tiếp xúc trực tiếp với bề mặt của vật liệu. Phương pháp này có độ chính xác cao, đo kiểm được hầu hết các bề mặt có tiết diện vừa và lớn. Tuy nhiên, khi đo tiếp xúc cần thiết phải tồn tại một lực đo giữa đầu đo và bề mặt chi tiết đo để đảm bảo sự tiếp xúc ổn định. Điều đó có thể gây ra sự biến dạng trên bề mặt chi tiết đo nhất là đối với các chi tiết mỏng kém cứng vững hoặc biến dạng của cơ cấu đo sẽ sinh ra sai số do lực đo. Các thiết bị đo dạng tiếp xúc này cho phép đo các nhấp nhô bề mặt với chiều cao từ 0,8 đến 63 μm với sai số theo phương thẳng đứng là từ ± 5 đến $\pm 10\%$ và phương ngang là không quá $\pm 10\%$ [18].

Một loại thiết bị khác sử dụng phương pháp tiếp xúc đo biên dạng bề mặt là kính hiển vi. Kính hiển vi lực nguyên tử (Atomic Force Microscope, AFM) là một thiết bị quan sát cấu trúc vi mô bề mặt của vật rắn dựa trên nguyên tắc xác định lực tương tác nguyên tử giữa một đầu mũi dò nhọn với bề mặt của mẫu, được sử dụng rộng rãi cho các mục đích đo bề mặt có độ phân giải ngang đến cấp độ nanomet và độ phân giải dọc đến dưới nanomet. Tùy thuộc vào tính chất của lực tác động giữa đầu đo và bề mặt mẫu, có thể chia làm ba chế độ hoạt động của AFM: tiếp xúc, bán tiếp xúc và không tiếp xúc [19]. Ưu điểm của phương pháp này là khả năng thu được hình ảnh có độ phân giải cao của địa hình siêu vi bề mặt và có thể hoạt động ngay trong môi trường bình thường. Tuy nhiên, kích thước trường quét nhỏ, tốc độ quét bề mặt thấp, chất lượng ảnh bị ảnh hưởng bởi quá trình trễ của bộ quét áp điện [20].

Kính hiển vi quét đầu dò (Scanning probe microscopy, SPM) là tên gọi chung của nhóm kính hiển vi mà việc tạo ảnh bề mặt của mẫu vật được thực hiện bằng cách quét một mũi dò nhỏ trên bề mặt của mẫu vật. Đây là một trong những phương pháp đầy hứa hẹn để đo độ nhám cho bề mặt siêu mịn. Thiết bị SPM có một số ưu điểm như cho phép nhận được cấu trúc bề mặt ba chiều thật và điều kiện đo của SPM đều có thể thực hiện trong môi trường không khí. Tuy nhiên, nhược điểm của SPM là kích thước trường quét của vật thể nhỏ, tốt nhất là $150 \times 150 \mu\text{m}$.

Hiện nay có rất nhiều các dụng cụ đo bề mặt sử dụng phương pháp đo không tiếp xúc. Các phương pháp này ứng dụng các kỹ thuật quang học để đánh giá độ nhám dựa trên sự phản xạ ánh sáng từ bề mặt, tán xạ ánh sáng hoặc khuếch tán, và công nghệ hồng ngoại (laze). Ưu điểm của các phương pháp này là chùm tia không thể làm hỏng bề mặt chi tiết, phạm vi chiều cao của các mẫu mô siêu nhỏ có thể đo được do được tự động hiệu chỉnh. Tuy nhiên, khuyết điểm của chúng là sự phụ thuộc của hằng số quang học trên bề mặt vật liệu.

Trong số thiết bị đo không tiếp xúc, kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope, SEM) [21] có thể thu được hình ảnh bề mặt mẫu với độ phân giải cao (vài nanomet). Kính hiển vi điện tử quét có thể tạo ra ảnh với độ phân giải cao của bề mặt mẫu vật rắn bằng cách sử dụng một chùm điện tử (chùm các electron) hẹp quét trên bề mặt mẫu. Việc tạo ảnh của mẫu vật được thực hiện thông qua việc ghi nhận và phân tích các bức xạ phát ra từ tương tác của chùm điện tử với bề mặt mẫu vật. Ưu điểm của phương pháp này bao gồm khả năng quét một khu vực mẫu tương đối lớn cũng như có nhiều phương pháp phân tích cho phép đo với độ phân giải đến nanomet. Ngoài ra, kết

quả đo có độ sắc nét sâu đáng kể của hình ảnh, kích thước vật thể lớn và phạm vi phóng đại từ 3 - 150.000 lần.

Phương pháp tiết diện tia sáng sử dụng chùm tia sáng xuất phát từ nguồn sáng qua một khe hẹp được thấu kính hướng một góc α so với bề mặt cần điều khiển. Chiều cao của các mấp mô siêu nhỏ được đo từ đường ngắm bằng micromet. Các thiết bị hoạt động theo nguyên lý này cho phép đo độ mấp mô bề mặt có chiều cao từ 0,8 đến 62,5 μm với hệ số sai sót từ 7,5-24%. Các thiết bị này cho phép xác định các tham số R_z , R_{max} , S và chụp ảnh các mấp mô siêu nhỏ.

Phương pháp laser elip dựa trên việc phân tích những thay đổi trong phân cực của ánh sáng truyền hoặc phản xạ từ đối tượng được nghiên cứu. Trên nguyên tắc của phép đo elip, các phương pháp nghiên cứu không tiếp xúc nhạy cảm trên bề mặt của các chất khác

nhau, quá trình hấp phụ, ăn mòn màng oxit, và các phương pháp khác được xây dựng. Bức xạ laser đơn sắc được sử dụng như một nguồn sáng trong các phép đo elip. Thước đo định lượng của những thay đổi này là các góc phân cực được xác định bởi phương trình cơ bản của phép đo elip [21].

Ngoài ra còn có một phương pháp so sánh không tiếp xúc, dựa trên việc so sánh bề mặt được đo với các mẫu có độ nhám (GOST 9378-93). Phương pháp này đơn giản, giá thành thấp và đảm bảo độ kiểm tra tin cậy khi $R_a > 1,25 \mu\text{m}$ và $R_z > 10 \mu\text{m}$ [22]. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là sai số đo cao do kết quả đo phụ thuộc trực tiếp vào các yếu tố chủ quan.

Thông qua việc phân tích một số phương pháp xác định độ nhám bề mặt, nghiên cứu tiến hành so sánh và đưa ra kết quả như Bảng 2.

Bảng 2. Bảng so sánh các phương pháp đo lường độ nhám bề mặt của các bộ phận

STT	Phương pháp	Đo lường độ nhám bằng micromet	Xử lý kỹ thuật số phép đo lường	Độ khó xử lý các phép đo	Cơ chế hoạt động: Tiếp xúc “+” Không tiếp xúc “-”
1	Đầu đo tiếp xúc	0,8 – 63	+	Tương đối thấp	+
2	So sánh không tiếp xúc	$R_a > 1,25$ $R_z > 10$	-	Thấp	-
3	Phương pháp tiết diện tia sáng	0,8 – 62,5	-	Tương đối thấp	-
4	Phương pháp laser elip	0,0003 – 0,0579	+	Rất cao	-
5	SEM	0,0004	+	Rất cao	-
6	AFM	$\geq 0,001$	+	Rất cao	$\pm$
7	SPM	$\geq 0,019$	+	Tương đối thấp	$\pm$

Kết quả tổng hợp trong Bảng 2 cho thấy tùy theo yêu cầu cần thiết có thể lựa chọn phương pháp và thiết bị phù hợp để xác định chất lượng bề mặt của chi tiết gia công bằng phương pháp SLM. Việc lựa chọn các điều kiện giới hạn được xác định bởi các đặc tính làm việc của bề mặt sản phẩm. Ví dụ, để đánh giá chất lượng bề mặt của cánh tuabin được tạo ra bằng phương pháp SLM có thể sử dụng các phương pháp số 1; 4 hay đối với các sản phẩm và bộ phận của động cơ tuabin khí cần bổ sung thêm các phương pháp số 2; 3. Để điều chỉnh thiết bị đạt được các đặc tính bề mặt vật liệu xác định trước, cần sử dụng thêm các phương pháp số 5; 6 hay để xác định bản chất của sự xuất hiện các hư hỏng kết cấu đặc trưng của công nghệ SLM bằng phương pháp số 7. Tất cả các phương pháp đo lường này cho phép phát triển một bộ công cụ kiểm soát đáng tin cậy có thể đánh giá chất lượng bề mặt của các bộ phận làm bằng hợp kim chịu nhiệt được sản xuất theo phương pháp SLM.

Trong quá trình sản xuất sản phẩm, đặc biệt là đối với ngành hàng không thì cần phải có được các chi tiết hoàn thiện với các đặc tính hoạt động bề mặt có thể dự đoán được. Trong số các chỉ tiêu về đặc tính hoạt động mà chúng tôi nghiên cứu thì các phương pháp và thiết bị đánh giá chất lượng lớp bề mặt của bộ phận đặc trưng cho phương pháp SLM đó là: Độ bền mỏi; Khả năng chống mài mòn; Độ mỏi do tiếp xúc và khả năng chống ăn mòn tốt. Độ tin cậy về chất lượng bề mặt của các chỉ tiêu nêu trên phải được đánh giá bằng phương pháp không tiếp xúc, có tính đến cấu trúc của hợp kim chịu nhiệt.

Đối với các sản phẩm được chế tạo theo phương pháp SLM, việc nghiên cứu các phương pháp kiểm tra chất lượng lớp bề mặt là

xác định được mối quan hệ giữa các đặc tính hoạt động và chất lượng lớp bề mặt. Độ tin cậy của phép đo các chỉ số có thể cho phép dự đoán độ bền, tuổi thọ và một số yếu tố khác của sản phẩm làm bằng hợp kim chịu nhiệt. Kết quả nghiên cứu này đã cho thấy khả năng phát triển các tham số khi kết hợp về mặt toán học và vật lý để đánh giá chất lượng sản phẩm thu được bằng phương pháp SLM khi gia công các sản phẩm từ hợp kim chịu nhiệt.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mối quan hệ giữa các đặc tính hoạt động và chất lượng lớp bề mặt, và một số phương pháp đo chất lượng lớp bề mặt của các sản phẩm kim loại đặc trưng cho phương pháp SLM từ các hợp kim chịu nhiệt đã được tổng hợp và phân tích. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng đặc tính hoạt động được xác định bởi các đặc tính của lớp bề mặt, đặc biệt với công nghệ SLM, sự thay đổi hình học vĩ mô và vi mô cũng ảnh hưởng đến chất lượng lớp bề mặt của hợp kim chịu nhiệt. Cụ thể, các chỉ tiêu đánh giá cho các sản phẩm từ phương pháp SLM có thể xem xét đó là: độ bền mỏi; khả năng chống mài mòn; độ mỏi do tiếp xúc và khả năng chống ăn mòn tốt. Đồng thời, độ tin cậy về chất lượng bề mặt của các chỉ tiêu nêu trên phải được đánh giá bằng phương pháp không tiếp xúc, có tính đến cấu trúc của hợp kim chịu nhiệt. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở bổ sung một số thông tin hữu ích khi gia công các sản phẩm kim loại áp dụng phương pháp SLM từ các hợp kim chịu nhiệt. ❖

Ngày nhận bài: 02/11/2022

Ngày phản biện: 02/11/2022



Tài liệu tham khảo:

- [1]. Choi, J.-W. and H.-C. Kim, *3D printing technologies-a review*. Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 2015. 14(3): p. 1-8.
- [2]. Григорьянц, А.Г., Д.Ю. Новиченко, and И.Ю. Смуров, *Лазерная аддитивная технология изготовления покрытий и деталей из композиционного материала*. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2011(7): p. 38-46.
- [3]. Hanzl, P., et al., *The influence of processing parameters on the mechanical properties of SLM parts*. Procedia Engineering, 2015. 100: p. 1405-1413.
- [4]. Ding, H., et al., *Design, microstructure and thermal stability of a novel heat-resistant Al-Fe-Ni alloy manufactured by selective laser melting*. Journal of Alloys and Compounds, 2021. 885: p. 160949.
- [5]. Zhang, J., et al., *A novel crack-free Ti-modified Al-Cu-Mg alloy designed for selective laser melting*. Additive Manufacturing, 2021. 38: p. 101829.
- [6]. Kruth, J.-P., et al., *Selective laser melting of iron-based powder*. Journal of materials processing technology, 2004. 149(1-3): p. 616-622.
- [7]. Shapiro, A.E. and E.Y. Ivanov, *Heat-resistant brazing filler metals for joining titanium aluminide and titanium alloys*. in Proceedings of the 3rd International Brazing and Soldering Conference (IBSC). 2006.
- [8]. Bruno, G., *In-Situ Compression CT on Additively Manufactured in 625 Lattice Structures*. 2019.
- [9]. Razavi, S.M.J., et al., *Fatigue strength of blunt V-notched specimens produced by selective laser melting of Ti-6Al-4V*. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2018. 97: p. 376-384.
- [10]. Hintze, W., et al., *Finish machining of Ti6Al4V SLM components under consideration of thin walls and support structure removal*. Procedia Manufacturing, 2020. 48: p. 485-491.
- [11]. Marbury, F.H., *Characterization of SLM printed 316L stainless steel and investigation of microlattice geometry*. 2017.
- [12]. Васильков, Д.В., А.С. Александров, and В.В. Голикова, *Обеспечение качества поверхностного слоя ответственных деталей машин*. Системный анализ и аналитика, 2019(1): p. 67-75.
- [13]. Васильков, Д., В. Вейц, and В. Шевченко, *Динамика технологической системы механической обработки*. 1997.
- [14]. Валетов, В., et al., *Автоматизированная система непараметрической оценки микрогеометрии поверхности/Машиностроение и автоматизация производства*. Межвуз. сб. научн. тр.-СПб: СЗПИ, 1995: p. 54-67.
- [15]. Кравцов, А.Н. and Н.В. Кравцов, *Моделирование технологического обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин*. 2012.
- [16]. POSDEEVA, A., I. NIASHIN, and P. Trusov, *Residual stresses: Theory and applications*. Moscow, Izdatel'stvo Nauka, 1982, 112, 1982.
- [17]. Валетов, В.А. and А.Ю. Иванов, *Непараметрический подход к оценке качества изделий*. Металлообработка, 2010(6 (60)): p. 55-59.
- [18]. Назаров, Ю., et al., *Методы исследования и контроля шероховатости поверхности металлов и сплавов*. Физическая инженерия поверхности, 2007.
- [19]. Lapshin, R.V., *Feature-oriented scanning methodology for probe microscopy and nanotechnology*. Nanotechnology, 2004. 15(9): p. 1135.
- [20]. Whangbo, M.-H. and S.N. Magonov, *Surface analysis with STM and AFM: experimental and theoretical aspects of image analysis*. 2008: John Wiley & Sons.
- [21]. Быков, Ю., С. Карпукhin, and М. Бойченко, *Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ*. Аппаратура, принцип работы, применение/ЮА Быков, СД Карпукhin, МК Бойченко и др. Электр. дан. М.: МГТУ им. НЭ Баумана, 2003.
- [22]. Ануриев, В., *Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т*. М.: Машиностроение, 2001. 1: p. 920.