

# GIA CÔNG ĐIỆN HÓA BỀ MẶT CỦA CÁC BỘ PHẬN THÉP 12X18H10T ĐƯỢC SẢN XUẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP NUNG CHẢY LASER CHỌN LỌC

Tô Mạnh Hùng<sup>1,2\*</sup>, Ovchinnikov Viktor Vasilyevich<sup>2</sup>, Levina Tatiana<sup>2</sup>, Anatolyevna<sup>2</sup>, Adylina Anna Petrovna<sup>2</sup>, Glukhikh Yakov Mikhailovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa Moscow

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.7.081-090>

## TÓM TẮT

Việc sử dụng các công nghệ phụ gia để sản xuất các bộ phận từ thép không gỉ dạng bột đang gia tăng đều đặn trong những năm gần đây. Ứng dụng công nghệ nung chảy laser chọn lọc từng lớp giúp tiết kiệm vật liệu để sản xuất đến những bộ phận cuối cùng, giảm cường độ lao động trong quá trình sản xuất và thu được các bộ phận có cấu hình khác nhau. Đồng thời, công nghệ phụ gia làm gia tăng độ nhám bề mặt của các bộ phận được sản xuất, vì thế trong hầu hết các trường hợp đều cần gia công hoàn thiện bề mặt của những bộ phận này. Người ta đã chứng minh rằng độ cứng siêu nhỏ của vật liệu mẫu thu được bằng phương pháp nung chảy laser chọn lọc vì hạt của thép 12X18H10T vượt quá độ cứng siêu nhỏ của thép đặc. Độ bền kéo và độ giãn dài tương đối lần lượt là 665 MPa và 53%, điều này là do sự hình thành các pha cứng và cấu trúc hạt mịn trong phương pháp SLM. Bài báo trình bày sự ảnh hưởng của đánh bóng điện phân đến độ nhám của các mẫu phôi được sản xuất bằng phương pháp nung chảy laser chọn lọc từ bột thép 12X18H10T.

**Từ khóa:** Công nghệ phụ gia, độ nhám bề mặt, gia công bề mặt, gia công điện hóa, nung chảy laser chọn lọc, thép 12X18H10T.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, một trong những xu hướng phát triển của công nghệ gia công vật liệu kim loại là công nghệ phụ gia, nhằm mở rộng phạm vi sử dụng vật liệu mới, công nghệ thông tin và nâng cao tính tự động hóa của các quá trình sản xuất (Григорьев С.Н., Смуров И.Ю., 2013).

Công nghệ sản xuất các bộ phận bằng phương pháp nung chảy laser chọn lọc (SLM) đảm nhận sản xuất được một số bộ phận của các sản phẩm có hình dạng hình học ban đầu với cấu hình phức tạp.

Khả năng thẩm thấu, sức căng bề mặt và độ nhớt của chất nóng chảy đóng vai trò quan trọng trong quá trình sản xuất sản phẩm. Một trong những yếu tố hạn chế việc sử dụng các kim loại và hợp kim khác nhau trong phương pháp SLM là hiệu ứng "hình thành bong bóng" hoặc hình cầu, biểu hiện dưới dạng hình thành các giọt nằm tách biệt với nhau, chứ không phải là một đường tan chảy.

Nguyên nhân gây ra hiệu ứng này là sức căng

*Corresponding author: manhhungmami@yandex.ru*

bề mặt dưới tác động của sự nóng chảy có xu hướng làm giảm năng lượng thẩm thấu bề mặt tự do bằng cách tạo thành các khuôn có diện tích bề mặt tối thiểu. Trong trường hợp này, hiệu ứng Marangoni được quan sát thấy trong dải nóng chảy, biểu hiện dưới dạng các dòng đối lưu do gradien sức căng bề mặt như một hàm của nhiệt độ và nếu các dòng đối lưu đủ mạnh, thì dải nóng chảy bị chia cắt thành từng giọt riêng biệt. Ngoài ra, một giọt nóng chảy dưới tác động của sức căng bề mặt hút các hạt bột lân cận vào chính nó, dẫn đến hình thành một hố xung quanh giọt và cuối cùng là làm tăng độ rỗ.

Hiệu ứng hình cầu hóa cũng được thúc đẩy bởi sự hiện diện của oxy hòa tan trong kim loại, làm tăng độ nhớt của chất nóng chảy, dẫn đến sự suy giảm khả năng lan truyền và thẩm ướt của chất nóng chảy ở lớp bên dưới.

Cần lưu ý rằng sự hình thành dải nóng chảy chất lượng cao liên quan đến việc tìm kiếm vùng tối ưu của các thông số quá trình vận hành (công suất bức xạ laser và tốc độ quét), mà vùng này thường khá hẹp.

Một yếu tố khác ảnh hưởng đến chất lượng

của sản phẩm là sự xuất hiện của ứng suất bên trong, sự hiện diện và độ lớn của ứng suất này phụ thuộc vào dạng hình học của sản phẩm, tốc độ làm nóng và nguội, hệ số giãn nở nhiệt, sự thay đổi pha và cấu trúc của kim loại. Ứng suất bên trong có thể dẫn đến biến dạng sản phẩm, hình thành các vết nứt vi mô và vĩ mô.

Chỉ số chính về chất lượng bề mặt của bộ phận được tạo thành là độ nhám, là tập hợp các chỗ lồi và chỗ lõm xen kẽ. Giá trị độ nhám bề mặt cao làm giảm các đặc tính hiệu suất quan trọng như khả năng chống mài mòn, độ bền mỏi và khả năng chống ăn mòn (Hình 1).



**Hình 1. Hình dạng bên ngoài bề mặt của cái kẹp hình kim được tạo ra bằng phương pháp nung chảy laser chọn lọc**

Độ nhám bề mặt có thể phá hủy đặc tính liên kết của các bộ phận do sự sụp đổ của những chỗ lồi ra hoặc sự mài mòn mạnh sẽ tạo biên dạng. Ở các khớp nối, độ nhám bề mặt lớn dẫn đến giảm độ cứng của khớp nối.

Sự gia tăng độ nhám làm giảm đi sự liên kết kim loại và trên bề mặt của nó hình thành một số lượng lớn các vùng ma sát làm tăng nồng độ các hạt phản ứng của một môi trường ăn mòn mạnh. Trên bề mặt nhẵn hơn, một lớp màng oxit dày đặc và đồng đều hơn được hình thành, có tác dụng bảo vệ kim loại trong giai đoạn đầu phát triển của sự ăn mòn (Ажогин Ф.Ф., Шлугер М.А., Ефимов Е.А, 1981).

Việc sử dụng các công nghệ truyền thống để gia công hoàn thiện bề mặt của các bộ phận được tạo ra bằng phương pháp SLM là khá tốn công và không phải lúc nào cũng mang lại kết quả như mong muốn (Суслов А.Г, 2000).

Gia công điện hóa là một công nghệ làm giảm độ nhám đồng đều trên toàn bộ bề mặt của phôi với tốc độ xử lý cao. Đồng thời, sự phân bố đường sức của dòng điện trên bề mặt phôi

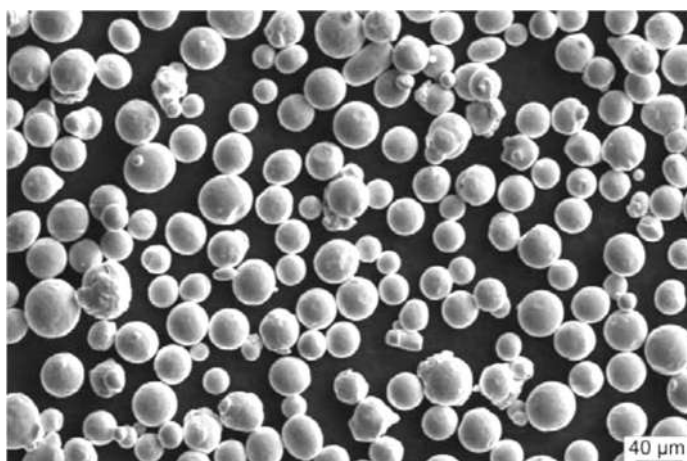
không đều. Đòi hỏi phải lựa chọn các thông số công nghệ của chế độ gia công cho từng loại phôi cụ thể.

Quy trình đánh bóng điện hóa dựa trên sự hòa tan anốt của bề mặt phôi. Trong quá trình này những chỗ lồi trên bề mặt nhanh chóng tan biến còn lại vết nhám. Những chỗ lõm của bộ phận thì hòa tan ở chế độ chậm. Mặt nhám trở nên nhẵn mịn, tốc độ hòa tan không cân bằng, dẫn đến việc cần thêm độ bóng sáng.

Mục đích của bài báo này là nghiên cứu cấu trúc và tính chất của thép không gỉ được tạo ra bằng phương pháp nung chảy laser chọn lọc, cũng như ảnh hưởng của đánh bóng điện hóa lên độ nhám bề mặt của các mẫu phôi.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

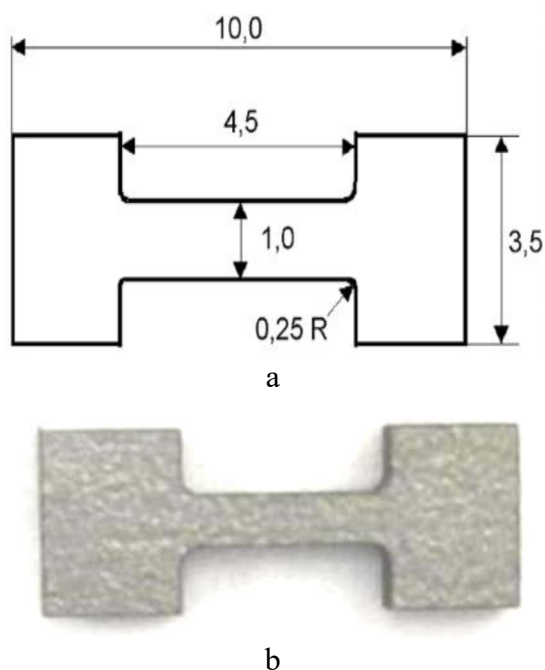
Chuẩn bị nguyên liệu ban đầu cho mẫu nghiên cứu, bột có độ mịn 20–40  $\mu\text{m}$  (Hình 2) có các chất sau (% trọng lượng) đã được sử dụng: 0,09–0,12% C, 17–18% Cr, 9–11% Ni, 0,9–1,1% Ti (Hình 2). Quá trình nung chảy của vật liệu được thực hiện trên nền thép không gỉ Crom. Argon được sử dụng làm khí bảo vệ.



Hình 2. Quét kính hiển vi điện tử, bột có độ mịn ban đầu

Thiết bị nung chảy Concept Laser M2 Cusing được sử dụng để lấy mẫu phẩm. Quá trình ép đẳng nhiệt nóng (HIP) được thực hiện trong một máy nén khí Quintus-16 của hãng ASEA (Thụy Điển). Việc sản xuất (cắt) mẫu để thử nghiệm cơ học được thực hiện trên máy ăn

mòn điện APTA-120. Bản phác thảo mẫu và ảnh chụp hình dáng bên ngoài của mẫu được thể hiện trong hình 3, độ dày của mẫu là 0,45 – 0,5 mm, độ nhám của mẫu là 0,63 Ra.



Hình 3. Phác thảo

(a) Hình dáng và kích thước bên ngoài, (b) Mẫu để thử nghiệm cơ học

Cấu trúc vi mô của các mẫu thiêu kết được nghiên cứu ở mặt cắt song song, cũng như ở mặt cắt vuông góc với hướng quét của chùm tia laser. Các vật liệu bột ban đầu được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét trên thiết bị Carl Zeiss EVO 50XVP. Các nghiên cứu kim loại được thực hiện trên kính hiển vi bán tự động Axio Observer Z1m do Carl Zeiss.

Để thực hiện các nghiên cứu cấu trúc, các

mẫu được đưa hợp kim vào một trục gá, sau đó chúng được mài và đánh bóng trên hạt kim cương với sự giảm dần kích thước của các hạt.

Trong quá trình chuẩn bị, các mẫu để thử nghiệm cơ học được kẹp bằng kim, các bề mặt đầu và bộ phận làm việc được mài và đánh bóng, không bỏ qua bất kỳ một chỗ hư hỏng, vết nứt và vết lõm nào, đó là chỗ tập trung ứng suất.

Thử nghiệm kéo giãn cơ học được thực hiện

trên máy thí nghiệm kéo được trang bị thiết bị đo lực có giới hạn trên là 200 kg với độ chính xác là 5% theo quy trình được mô tả trong quá trình làm việc (Гундеров Д. В. и партнеры, 2015). Tính tải trọng của mẫu được thiết lập bởi một động cơ bước, giúp duy trì tốc độ của chuyển động ngang với độ chính xác 3%. Quá trình thử nghiệm được điều khiển bởi một chương trình máy tính với việc hiển thị đồng thời các chỉ số báo về lượng dịch chuyển và lực tác động lên mẫu. Các thí nghiệm được thực hiện trên các mẫu phẳng có đế với kích thước  $1 \times 0,45 \times 3,5 \text{ mm}$ , với tốc độ kéo giãn  $1 \times 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ . Hình dạng hình học của các mẫu được đo bằng  $\mu\text{m}$  - thước kẹp kỹ thuật số điện tử với độ chính xác 0,01 mm.

Để đánh bóng điện hóa các mẫu (chế độ đánh

bóng: nhiệt độ điện phân 65 - 70°C, mật độ dòng điện 30 – 90 A/dm<sup>2</sup>), chất điện phân có thành phần sau được sử dụng: axit orthophosphoric 65%, axit sulfuric 15%, anhydrit cromic 6% và nước cất 14%. Nguồn Flex Kraft 1M được sử dụng làm nguồn điện để gia công điện hóa.

Các thông số về độ nhám được xác định bằng máy đo biên dạng laser 3D Olympus LEXT OLS 4100.

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Kết quả của các nghiên cứu đã thực hiện là những dữ liệu đã thu được về các tính chất cơ học của vật liệu được nghiên cứu so sánh với các đặc tính của thép 12X18H10T ở trạng thái sau khi đúc và cán. Kết quả thử nghiệm được thể hiện trong bảng 1.

**Bảng 1. Kết quả thử nghiệm tính kéo dãn của mẫu thép 12X18H10T**

Tình trạng vật liệu	Trở kháng tạm thời, $\sigma_B$ , MPa	Độ bền chảy có điều kiện, $\sigma_{0,2}$ , MPa	Độ kéo giãn tương đối, $\delta$ , %
Đúc	600	270	60
SLM	665	288	53
Các tấm cán nguội sau khi luyện ở nhiệt độ 1050-1080°C	530	205	40

Kết quả của các nghiên cứu thực nghiệm được đưa ra trong bảng 1 cho phép đánh giá ảnh hưởng của các công nghệ khác nhau (đúc, cán, và nung chảy laser chọn lọc) đến tổ hợp các tính chất cơ học của thép không gỉ 12X18H10T. Có thể thấy rằng vật liệu được tạo ra bằng phương pháp SLM vượt trội hơn về độ trở kháng tạm thời và độ bền chảy có điều kiện, nhưng kém hơn về hệ số kéo giãn dài tương đối so với vật liệu đúc.

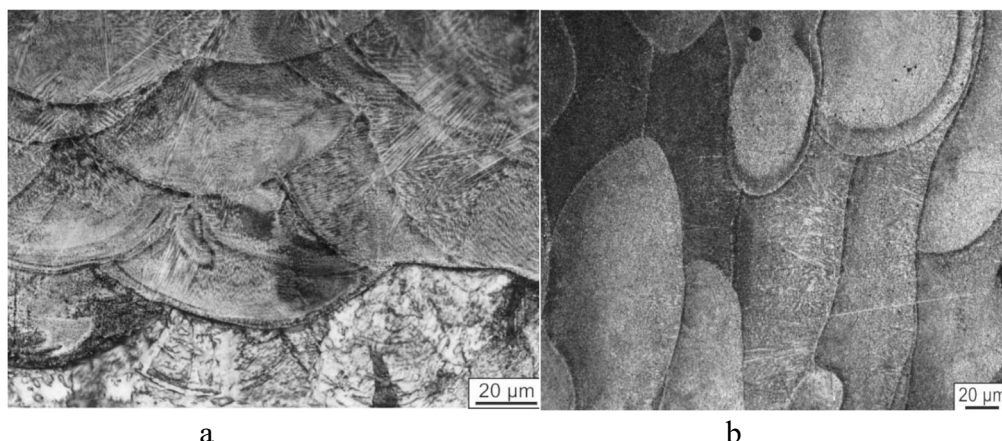
Sau khi sản xuất phụ gia bằng phương pháp SLM, vật liệu được đặc trưng bởi tính dị hướng của các tính chất, tăng độ bền và giảm độ dẻo do sự hiện diện của ứng suất dư. Để loại bỏ ứng suất dư, có được cấu trúc cân bằng hơn, tăng độ nhớt và độ dẻo của vật liệu, người ta tiến hành ủ.

Có thể lưu ý rằng thép 12X18H10T được tạo ra bằng cách nung chảy laser chọn lọc, bền hơn vật liệu đúc khoảng 8 - 12%. Điều này có thể được giải thích là do kích thước nhỏ của các hạt và các thành phần cấu trúc vi mô được hình thành nhờ quá trình làm nguội nhanh chóng của sự nóng chảy.

Việc làm nguội nhanh chóng của sự nóng

chảy làm tăng đáng kể số lượng hạt nhân pha rắn và làm giảm kích thước cực hạn của chúng. Trong trường hợp này, các tinh thể phát triển nhanh chóng trên phôi, tiếp xúc với nhau, bắt đầu ngăn cản sự phát triển thêm của chúng, từ đó hình thành cấu trúc hạt mịn. Các hạt nhân của quá trình kết tinh thường là các tạp chất phi kim loại, các bong bóng khí hoặc các hạt thoát ra từ sự nóng chảy với khả năng hòa tan hạn chế của chúng trong pha lỏng. Trong trường hợp tổng quát, theo hệ thức Hall-Petch, với sự giảm kích thước hạt, độ bền của kim loại tăng lên do mạng lưới các ranh giới hạt phát triển, đó là một rào cản hiệu quả đối với sự di chuyển của các khối lệch.

Sau khi khắc mẫu, các hố nóng chảy vòng cung hình thành trong quá trình SLM có đường kính ~ 75  $\mu\text{m}$  và độ sâu ~ 44  $\mu\text{m}$  được phân tách rõ ràng, ranh giới của chúng được xác định rõ ràng sau khi khắc mẫu. Cấu trúc của chúng gồm nhiều tế bào kết tinh. Các tế bào kết tinh được hình thành bởi các khối, trong đó chúng được định hướng dịch chuyển theo một hướng (hình 4a).



**Hình 4. Cấu trúc vi mô của một mẫu thép 12X18H10T được tạo ra bằng cách nung chảy laser chọn lọc**

(a) Ranh giới với chất nền; (b) Ở mặt cắt song song

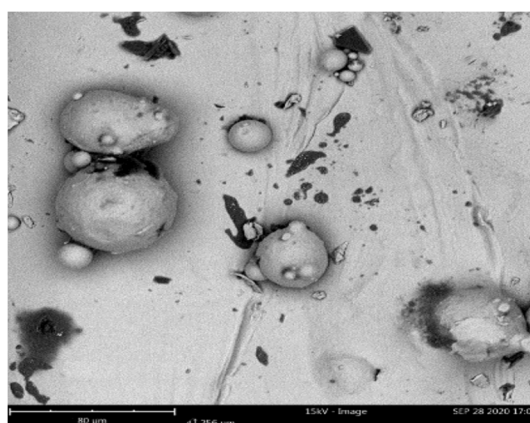
Cấu trúc như vậy là điển hình cho các mẫu được tạo ra bằng phương pháp SLM. Tác giả của nhiều ấn phẩm xuất bản đã chỉ ra rằng: ranh giới của các tế bào kết tinh là những vùng khối lệch (Amato K. N & partners, 2012), (Pinkerton A. J., Lin Li, 2003).

Việc làm nguội đột ngột các vi hạt của hợp kim trong quá trình thực hiện công nghệ SLM dẫn đến sự xuất hiện của ứng suất nhiệt cao trong cấu trúc; do đó, sự hình thành các vùng khối lệch là một cơ chế giãn ứng suất. Dữ liệu trong các tài liệu tham khảo đã chứng minh rằng trong các vật liệu dựa trên thép không gỉ thu được bằng phương pháp SLM, ranh giới của các tế bào biến dạng và ranh giới của các tế bào kết tinh thông thường là trùng nhau (Базалева К.О. и партнеры, 2016)

Trong mặt cắt dọc, cấu trúc của vật liệu thể hiện các vũng nóng chảy mở rộng được hình thành do quá trình quét vật liệu dạng bột bằng chùm tia laser (hình 4b).

Dựa trên kết quả của các nghiên cứu đã thực hiện, có thể kết luận rằng nung chảy laser chọn lọc là một phương pháp hiệu quả giúp tạo ra phiôi chất lượng cao từ thép 12X18H10T dựa trên vật liệu bột, được đặc trưng bởi mức độ đồng nhất cao về cấu trúc.

Bề mặt của một mẫu làm bằng thép 12X18H10T, thu được bằng phương pháp SLM, thể hiện tính chất gợn sóng của địa hình khi có lẫn các hạt của vật liệu bột ban đầu. Trên bề mặt mẫu, diện tích 1 cm<sup>2</sup> chứa khoảng 95 hạt có kích thước 25–50 μm (hình 5), độ nhám ban đầu Ra ở mức 9–15 μm.



**Hình 5. Cấu trúc vi mô của bề mặt mẫu làm bằng thép 12X18H10T thu được bằng phương pháp SLM (x1500)**

Địa hình bề mặt gợn sóng lặp lại với tần số trong khoảng 120 – 160 μm. Cấu trúc này được hình thành do lối thoát ra các mặt của mặt phẳng

thiếu kết của lớp vật liệu bột trên bề mặt.

Quá trình gia công điện hóa diễn ra trong dung dịch điện phân khi mẫu được gia công sẽ

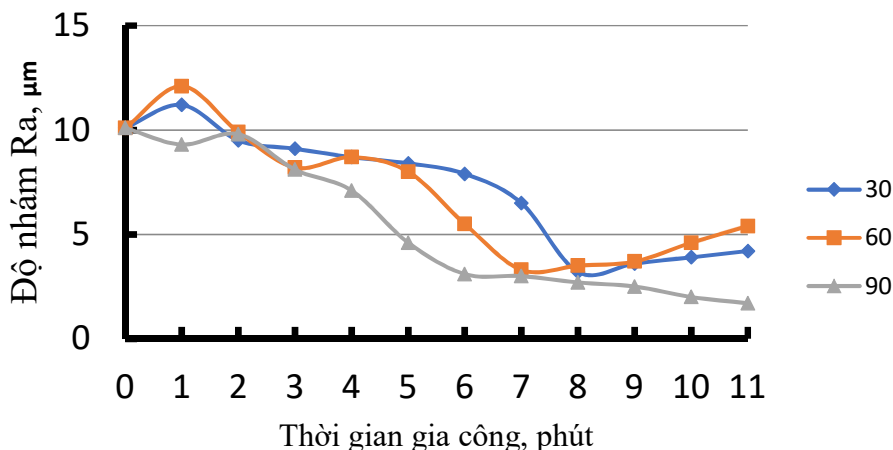
được kết nối như một cực dương và cho một dòng điện có tính lưỡng cực trực tiếp chạy qua. Chất điện phân là một dung dịch của axit với các chất phụ gia chức năng. Trong quá trình đánh bóng điện hóa, nên khuấy dung dịch hoặc lắc mẫu đang được gia công. Điều này làm cho nó có thể loại bỏ sự tích tụ cục bộ của các bong bóng hydro trong các khu vực nhất định của bề mặt mẫu, giúp cải thiện chất lượng xử lý bề mặt (Горобец М.А. и партнеры, 2018)

Việc làm mịn bề mặt nhám của mẫu trong quá trình gia công điện hóa được xác định bởi sự không đồng đều của sự phân bố dòng điện thứ cấp trên địa hình vi mô của bề mặt anot (mẫu đang được gia công) và nồng độ thay đổi trong lớp điện phân gần anot. Tốc độ hòa tan của kim loại anot tăng lên khi giảm độ dày của lớp điện

phân nhớt gần anot ở những chỗ lồi của bề mặt đang được xử lý. Những yếu tố này sẽ có ảnh hưởng khi việc làm phẳng các bề mặt nhám đủ lớn, nhưng sẽ mất đi ý nghĩa khi mức độ làm mịn giảm đi (Amato K. N et al., 2012), (Pinkerton A. J., Lin Li, 2003), (Лощинин Ю.В.и партнеры, 2020).

Bài báo này nghiên cứu sự thay đổi độ nhám bề mặt và khối lượng của mẫu từ thép 12X18H10T, thu được bằng phương pháp SLM, phụ thuộc vào mật độ dòng điện và thời gian gia công điện hóa.

Trong quá trình gia công điện hóa, sự phụ thuộc phi tuyến của sự thay đổi độ nhám bề mặt mẫu vào mật độ dòng điện đã được thiết lập (hình 6).



**Hình 6. Sự thay đổi độ nhám của mẫu thép 12X18H10T, thu được bằng phương pháp SLM phụ thuộc vào mật độ dòng điện và thời gian gia công điện hóa**

Trong giai đoạn đầu thời gian gia công kéo dài đến 3 phút. Ở cường độ cao các điện tích bề mặt mẫu có tạp chất của các hạt kích thước lớn cho thấy ảnh hưởng của sự gia tăng nồng độ dòng điện của đường lực ở các đỉnh của phần nhô ra, kéo theo sự giảm chiều cao của chúng.

Việc tăng thêm thời gian gia công trong khoảng từ 3 đến 7 phút dẫn đến việc làm mịn bề mặt hơn nữa, tuy nhiên, điều này đi kèm với sự giảm khối lượng của kim loại trong các vùng bề mặt ngay cạnh các hạt rất to. Người ta quan sát thấy sự gia tăng bán kính độ cong của các đỉnh của phần nhô ra khi chúng được khắc và sự chuyển đổi thành một dải địa hình vi mô gọn sóng. Sau quá trình chuyển đổi thành một dải

địa hình vi mô gọn sóng, tốc độ san bằng bề mặt chậm lại đáng kể.

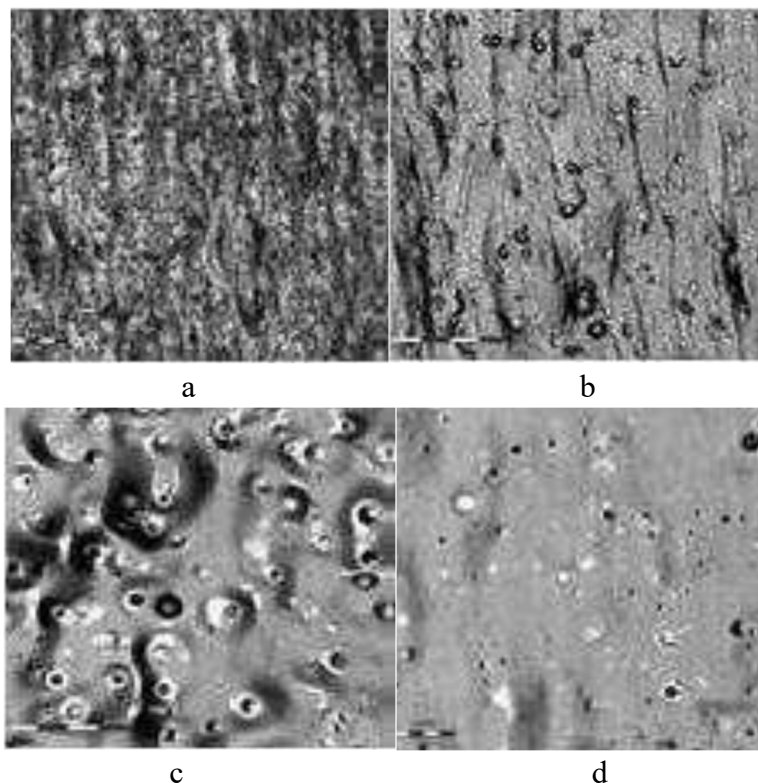
Trong trường hợp gia công điện hóa ở mật độ dòng điện 90 A/dm<sup>2</sup>, có thể đạt được độ nhám bề mặt của mẫu lên đến 1,8 – 2,5 μm và bắt đầu từ phút gia công thứ 6, độ nhám của mẫu ổn định. Điều này có thể được giải thích là do sự giảm nồng độ của các dòng lực tại các khu vực có rạn nứt vĩ mô và sự tăng độ nhám của bề mặt đang được xử lý, cũng như do sự phân bố đồng đều hơn của chúng trên bề mặt của mẫu thử.

Với sự giảm mật độ dòng điện của quá trình gia công điện hóa, đặc tính thay đổi tương tự về độ nhám cũng được quan sát thấy, tuy nhiên, nó mịn hơn, điều này được xác định bởi tốc độ phát

triển thấp hơn của quá trình gia công.

Hình 7 cho thấy hình dáng bên ngoài của các phần mẫu từ thép 12X18H10T trong quá trình

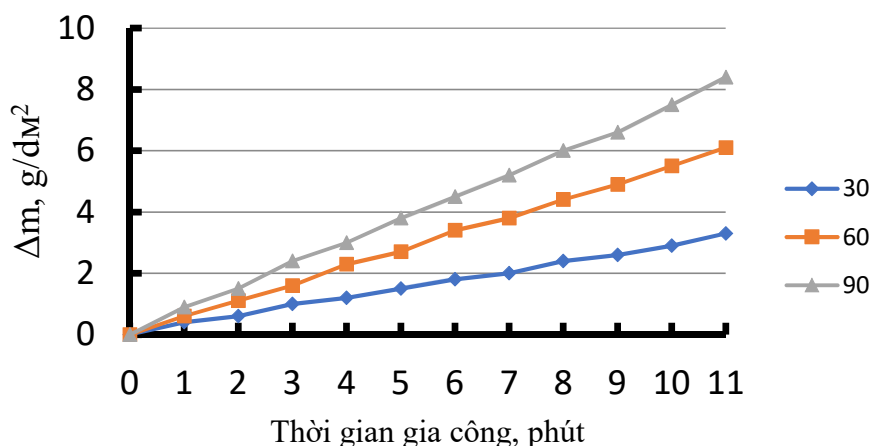
gia công điện hóa bề mặt trong vòng 8 phút ở các giá trị khác nhau của mật độ dòng điện.



**Hình 7. Hình thái bề mặt của thép 12X18H10T sau 8 phút gia công điện hóa:**  
 (a) không gia công; (b) ở mật độ dòng điện là  $30 A/dm^2$ ; (c) ở mật độ dòng điện là  $60 A/dm^2$ ;  
 (d) ở mật độ dòng điện  $90 A/dm^2$

Trong quá trình gia công điện hóa các mẫu thép 12X18H10T, thu được bằng phương pháp SLM, ở các mật độ dòng điện khác nhau, đặc

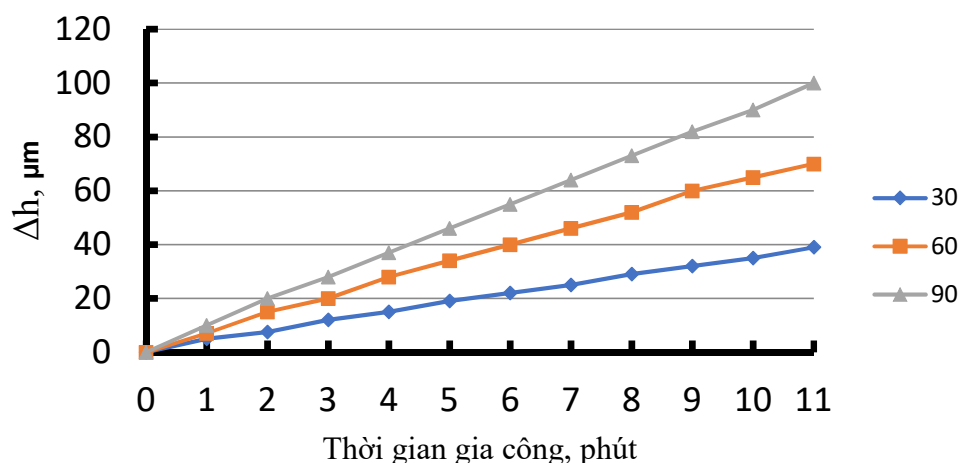
tính tuyến tính của sự mất trọng lượng của các mẫu được thiết lập (hình 8).



**Hình 8. Sự thay đổi khối lượng của mẫu thép 12X18H10T, thu được bằng phương pháp SLM, phụ thuộc vào mật độ dòng điện và thời gian gia công điện hóa**

Sự gia tăng thời gian của quá trình gia công điện hóa góp phần làm mịn đáng kể bề mặt của các mẫu, tuy nhiên, trong trường hợp này cũng gây ra sự giảm đáng kể kim loại của mẫu. Hình

9 cho thấy tiến trình thay đổi độ dày của một mẫu từ thép 12X18H10T tùy thuộc vào mật độ dòng điện và thời gian gia công điện hóa.



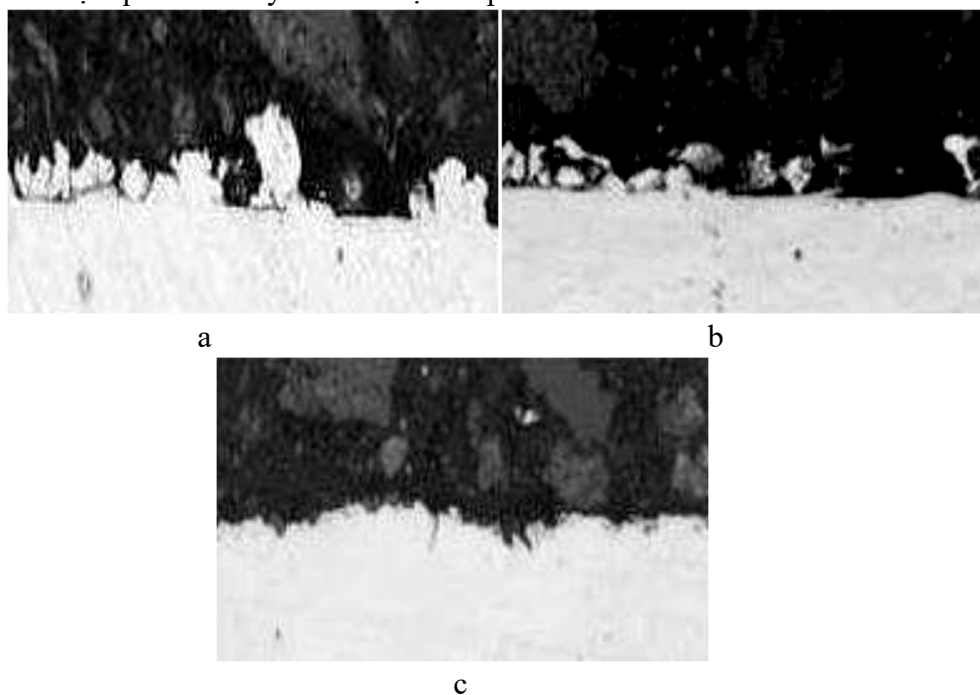
**Hình 9. Sự thay đổi độ dày của mẫu thép 12X18H10T phụ thuộc vào mật độ dòng điện và thời gian gia công**

Các thí nghiệm đã chỉ ra rằng quá trình gia công điện hóa các mẫu từ thép 12X18H10T, được sản xuất theo phương pháp SLM, với độ nhám cực nhỏ trên bề mặt dưới dạng các hạt có bán kính trong khoảng 12 – 24 μm, sẽ diễn ra với cường độ lớn hơn trên bề mặt chính của mẫu và với cường độ thấp hơn trên bề mặt các hạt và có liên quan đến sự khác biệt trong các giá trị của điện trở.

Khi thời gian gia công điện hóa tăng lên, sự gia tăng điện trở được quan sát thấy trên bề mặt

chính của mẫu, dẫn đến sự bắt đầu quá trình ăn mòn của các đại hạt. Xảy ra hiện tượng san bằng dần dần của biên dạng bề mặt và sự biến đổi của nó thành một dải địa hình vi mô gợn sóng. Trong trường hợp này, các đường sức của dòng điện thẳng hàng và quá trình làm nhẵn bề mặt kim loại chậm lại.

Hình 10 cho thấy các mặt cắt của lớp bề mặt mẫu trong quá trình gia công điện hóa ở mật độ dòng điện 90 A/dm<sup>2</sup> với thời gian là 5 và 10 phút.



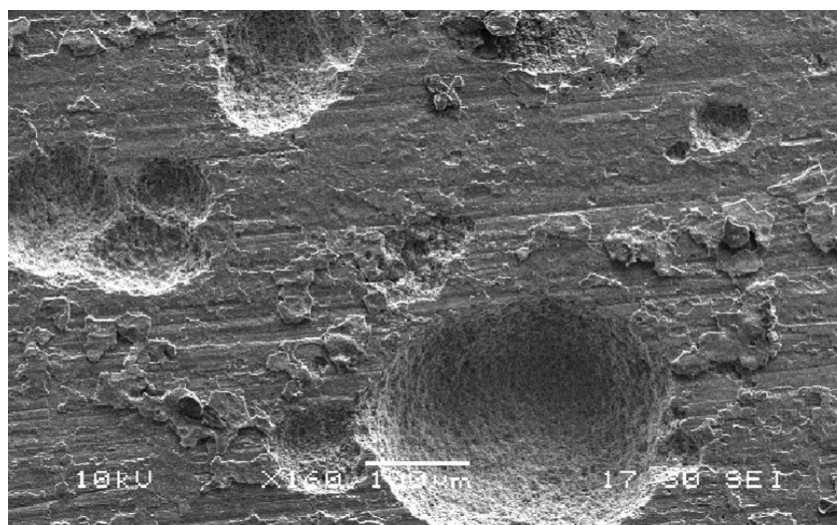
**Hình 10. Biến động của quá trình gia công điện hóa các mẫu thép 12X18H10T ở mật độ dòng điện 90 A/dm<sup>2</sup>**

(a) không gia công; (b) thời gian gia công 6 phút; (c) thời gian gia công 11 phút



Sự gia tăng thời gian gia công điện hóa trên 11 phút dẫn đến sự xuất hiện của vết ăn mòn trên

bề mặt mẫu và hình thành các vết rỗ (Hình 11).



**Hình 11. Địa hình bề mặt của một mẫu làm bằng thép 12X18H10T, thu được bằng phương pháp SLM, sau khi gia công điện hóa trong 17 phút ở mật độ dòng điện 90 A/dm<sup>2</sup>**

#### 4. KẾT LUẬN

Nung chảy laser chọn lọc là một phương pháp hiệu quả giúp tạo ra các phôi và sản phẩm chất lượng cao có đặc điểm là mức độ đồng nhất về cấu trúc cao dựa trên các vật liệu dạng bột như thép 12X18H10T.

Việc gia công điện hóa các mẫu từ thép 12X18H10T cho phép làm giảm độ nhám của mẫu khoảng 4 - 4,5 lần so với ban đầu.

Quá trình gia công điện hóa có thể được công nhận là có triển vọng cho việc gia công các bộ phận được tạo ra bằng phương pháp SLM, do tính đơn giản và chi phí thấp.

Đối với các mẫu thép 12X18H10T chế độ gia công điện hóa hợp lý là mật độ dòng điện 90 A/dm<sup>2</sup> với thời gian gia công từ 6-9 phút.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Григорьев С.Н., Смуров И.Ю (2013). Перспективы развития инновационного аддитивного производства в России и за рубежом. *Инновации*. Т. 10. С. 2-8.
2. Ажогин Ф.Ф., Шлугер М.А., Ефимов Е.А (1981). *Коррозия и защита металлов*. М.: Металлургия.
3. Суслов А.Г (2000). *Качество поверхностного*

слоя деталей машин. М.: Машиностроение.

4. Гундеров Д. В., Чуракова А. А., Лукьянов А. В., Прокофьев Е. А., Хасанова Д. А., Заманова Г. И (2015). Тонкая микроструктура аморфных сплавов Ti-Ni-Cu подвергнутых кручению под высоким давлением. *Вестник БГУ*. Т. 20. №2. С.403–407.

5. Amato K. N., S Gaytan. M., Murr L. E., Martinez E., Shindo P. W., Hernandez J., Collins S., Medina F (2012). Microstructures and mechanical behavior of Inconel 718 fabricated by selective laser melting . *Acta Materialia*. № 60. P. 2229–2239.

6. Pinkerton A. J., Lin Li (2003) . The effect of laser width on multiple-layer 316-L steel clad microstructure and surface finish. *Applied Surface Science* 208–209 .

7. Базалева К.О., Цветкова. Е.В., Балакирев Э.В (2016). Процессы рекристаллизации аустенитного сплава, полученного методом селективного лазерного плавления. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*. № 5.

8. Горобец М.А., Беляев М.С., Рыжков П.В (2018). Сопротивление усталости жаропрочных никелевых сплавов, полученных методом СЛС. *Авиационные материалы и технологии*. №3 (52). С. 50-55.

9. Лощинин Ю.В., Пахомкин С.И., Рахманов М.Г(2020). Температуры фазовых превращений и калориметрический анализ порошковых композиций жаропрочных никелевых сплавов. *Авиационные материалы и технологии*. № 1 (58). С. 79–85.

## **ELECTRICAL SURFACE PRODUCTION OF STEEL PARTS 12X18H10T PRODUCED WITH SELECTION LASER FUSING METHODS**

**To Manh Hung<sup>1,2\*</sup>, Ovchinnikov Viktor Vasilyevich<sup>2</sup>, Levina Tatiana<sup>2</sup>,  
Anatolyevna<sup>2</sup>, Adylina Anna Petrovna<sup>2</sup>, Glukhikh Yakov Mikhailovich<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Vietnam National University of Forestry*

*<sup>2</sup>Moscow Polytechnic University*

### **SUMMARY**

The use of additive technologies for the manufacture of parts from stainless steel powders has been steadily increasing in recent years. The use of layer-by-layer selective laser fusion technology saves material for growing the final part, reduces the labor intensity of manufacturing and allows you to get parts of various configurations. At the same time, additive technologies are characterized by increased surface roughness of the resulting parts, which implies in most cases the use of finishing their surface. It has been proven that the micro - hardness of the sample material obtained by the method of granular microfoaming of 12X18H10T steel exceeds the micro-stiffness of thick steel. The relatively tensile strength and dilatation are 665 MPa and 53%, which is due to the formation of a hard phase and fine granular structure in the SLM method. This article discusses the effect of electrolytic polishing on the roughness of samples obtained by selective laser fusion from steel powder 12X18H10T.

**Keywords:** Additive technologies, electrochemical processing, selective laser melting, steel 12X18H10T, surface roughness, surface treatment.

**Ngày nhận bài** : 09/9/2022

**Ngày phản biện** : 10/10/2022

**Ngày quyết định đăng** : 20/10/2022