

Nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương có biên dạng 3D bằng thiết bị chổi trục

Vũ Huy Đại*, Tạ Thị Phương Hoa, Nguyễn Thị Loan

Trường Đại học Lâm nghiệp

Effect of workpiece feed speed on the surface sanding quality of 3D Padauk wood (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) using a rotary brush sanding machine

Vu Huy Dai*, Ta Thi Phuong Hoa, Nguyen Thi Loan

Vietnam National University of Forestry

*Corresponding author: daivh@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.6.2026.121-129>

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) có biên dạng 3D bằng thiết bị đánh nhẵn chổi trục do nhóm tác giả thiết kế và chế tạo. Thí nghiệm được bố trí theo phương pháp một nhân tố với ba mức tốc độ đẩy phôi gồm 3, 6 và 9 m/phút. Chất lượng bề mặt sau đánh nhẵn được đánh giá thông qua các chỉ tiêu độ nhám bề mặt Rz, chất lượng ngoại quan, độ đồng đều và tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu tại các vùng lồi, vùng chuyển tiếp và vùng lõm của chi tiết. Kết quả cho thấy tốc độ đẩy phôi ảnh hưởng rõ rệt đến chất lượng bề mặt sau đánh nhẵn. Trong phạm vi khảo sát, tốc độ đẩy phôi 6 m/phút cho kết quả tốt nhất với độ nhám bề mặt trung bình đạt 9,9 µm, thấp hơn 14,7% so với tốc độ 3 m/phút và thấp hơn 27,2% so với tốc độ 9 m/phút. Đồng thời, chế độ này có hệ số biến động nhỏ nhất (CV = 5,73%), điểm đánh giá ngoại quan đạt 4,8/5 và tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu, đạt từ 96,7% đến 98,9%. Khi tăng tốc độ đẩy phôi lên 9 m/phút, chất lượng bề mặt suy giảm rõ rệt, xuất hiện hiện tượng sót nhám và vết sọc tại các vùng lõm và vùng chuyển tiếp. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ đẩy phôi 6 m/phút là chế độ công nghệ phù hợp cho quá trình đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương 3D bằng thiết bị chổi trục, góp phần nâng cao chất lượng bề mặt và hiệu quả gia công.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 20/05/2026

Ngày phản biện: 23/06/2026

Ngày quyết định đăng: 24/07/2026

Từ khóa:

Bề mặt 3D, chổi trục, đánh nhẵn bề mặt, độ nhám bề mặt, gỗ Hương, tốc độ đẩy phôi.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of feed speed on the sanding quality of three-dimensional (3D) Padauk wood (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) surfaces using a rotary brush sanding machine designed and manufactured by the authors. A single-factor experiment was conducted with three feed speeds of 3, 6, and 9 m/min. Surface quality was assessed based on surface roughness (Rz), visual appearance, surface uniformity, and the percentage of acceptable sanded area in convex, transition, and concave regions of the 3D workpiece. The results indicated that feed speed significantly affected the sanding quality. Within the investigated range, the feed speed of 6 m/min produced the best performance with an average surface roughness of 9.9 µm, which was 14.7% lower than that obtained at 3 m/min and 27.2% lower than that at 9 m/min. This condition also exhibited the lowest coefficient of variation (CV = 5.73%), the highest visual quality score (4.8/5), and an acceptable surface area ratio ranging from 96.7% to 98.9%. Increasing the feed speed to 9 m/min resulted in a noticeable deterioration of surface quality, characterized by residual roughness and sanding streaks, particularly in concave and transition regions. The findings suggest that a feed speed of 6 m/min is the most suitable technological parameter for sanding 3D Padauk wood surfaces using the rotary brush sanding machine, ensuring both high surface quality and processing efficiency.

Keywords:

3D wood surface, feed speed, Padauk wood, rotary brush sanding, surface roughness, surface sanding.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thiết kế và gia công CNC, các sản phẩm gỗ có bề mặt ba chiều (3D) được sử dụng ngày càng phổ biến trong sản xuất đồ gỗ nội thất cao cấp, đồ mỹ nghệ và trang trí kiến trúc. Các sản phẩm như cánh tủ chạm khắc, tranh phù điêu, pano trang trí, phào chỉ nghệ thuật và các chi tiết trang trí nội thất yêu cầu độ chính xác hình học cao, tính thẩm mỹ tốt và chất lượng bề mặt đạt yêu cầu trước khi thực hiện các công đoạn hoàn thiện. Tuy nhiên, sau quá trình gia công CNC, bề mặt sản phẩm thường còn tồn tại các vết dao cắt, hiện tượng xơ sợi dựng, độ nhấp nhô cục bộ và các sai hỏng bề mặt khác, làm ảnh hưởng đến chất lượng ngoại quan, khả năng bám dính của lớp sơn phủ và độ bền sử dụng của sản phẩm. Đối với các chi tiết có biên dạng không gian phức tạp, nhiều vùng lõm, lồi và góc chuyển tiếp, việc đánh nhẵn bằng phương pháp thủ công hoặc các thiết bị chà nhám truyền thống thường gặp khó khăn, năng suất thấp và khó bảo đảm tính đồng đều của bề mặt gia công.

Đánh nhẵn là công đoạn quan trọng quyết định chất lượng bề mặt sản phẩm gỗ trước khi hoàn thiện. Trong thực tiễn sản xuất hiện nay, công nghệ đánh nhẵn bằng chổi trục được xem là giải pháp hiệu quả đối với các bề mặt 3D nhờ khả năng tiếp xúc linh hoạt với các biên dạng phức tạp, giảm lao động thủ công và nâng cao chất lượng bề mặt sản phẩm. Hiệu quả của quá trình đánh nhẵn bằng chổi trục phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại vật liệu mài, tốc độ quay của chổi, áp lực tiếp xúc và tốc độ đẩy phôi. Trong đó, tốc độ đẩy phôi là một trong những thông số công nghệ quan trọng vì ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian tác động của vật liệu mài lên bề mặt gia công, từ đó quyết định khả năng loại bỏ vết dao, mức độ đồng đều và độ nhám bề mặt sau đánh nhẵn.

Nhiều nghiên cứu đã tập trung đánh giá các

yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt gỗ sau gia công và đánh nhẵn. Các kết quả nghiên cứu cho thấy độ nhám bề mặt phụ thuộc vào đặc tính loài gỗ, cấu trúc giải phẫu, phương pháp gia công cũng như các thông số công nghệ trong quá trình đánh nhẵn. Tökei và cộng sự (2008) đã chỉ ra các quy luật chung về độ nhám bề mặt gỗ, khẳng định mối quan hệ chặt chẽ giữa chất lượng bề mặt và điều kiện gia công cơ học [1]. Thoma và cộng sự (2015) cho thấy đặc điểm của từng loài gỗ có ảnh hưởng đáng kể đến độ nhám sau gia công do sự khác biệt về khối lượng thể tích, cấu tạo thớ gỗ và kích thước của tế bào gỗ [2]. Nghiên cứu của Paula và cộng sự (2020) cũng khẳng định chế độ chà nhám là một trong những yếu tố quan trọng quyết định chất lượng bề mặt và khả năng hoàn thiện sản phẩm [3]. Bên cạnh đó, Bembenek (2022) cho thấy các thông số của quá trình chà nhám, đặc biệt là hướng tác động của vật liệu mài đối với bề mặt gỗ, có ảnh hưởng rõ rệt đến trạng thái hình học vi mô của bề mặt sau gia công [4]. Về phương pháp đánh giá, Qing và cộng sự (2018) đã nghiên cứu các phương pháp xác định độ nhám bề mặt gỗ bằng các chỉ tiêu R_a , R_z và các thông số biên dạng khác, qua đó khẳng định việc đo độ nhám là cơ sở khoa học để đánh giá khách quan chất lượng gia công bề mặt gỗ [5].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về chất lượng bề mặt gỗ sau chà nhám và đánh nhẵn, phần lớn các công trình tập trung vào bề mặt phẳng hoặc các quá trình gia công truyền thống. Các nghiên cứu liên quan đến đánh nhẵn các chi tiết gỗ có bề mặt 3D phức tạp, đặc biệt bằng thiết bị chổi trục, còn tương đối hạn chế. Đồng thời, chưa có nhiều công bố đánh giá định lượng ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn đối với các loài gỗ tự nhiên có độ cứng cao và giá trị kinh tế lớn như gỗ Hương. Vì vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương 3D trên

thiết bị chổi trục là cần thiết, góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho việc lựa chọn chế độ công nghệ phù hợp, nâng cao chất lượng bề mặt và hiệu quả gia công các sản phẩm gỗ mỹ nghệ, nội thất có biên dạng phức tạp.

Gỗ Hương (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) là loài gỗ quý được sử dụng rộng rãi trong sản xuất đồ gỗ nội thất cao cấp và sản phẩm mỹ nghệ nhờ có màu sắc đẹp, vân gỗ đặc trưng, độ cứng và độ bền cơ học cao. Tuy nhiên, do có khối lượng riêng lớn và cấu trúc thớ gỗ tương đối phức tạp nên quá trình đánh nhẵn các chi tiết chạm khắc 3D từ gỗ Hương thường gặp khó khăn hơn so với nhiều loài gỗ thông dụng khác. Việc xác định chế độ công nghệ phù hợp, đặc biệt là tốc độ đẩy phôi, có ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao chất lượng bề mặt và hiệu quả sản xuất.

Xuất phát từ yêu cầu nâng cao chất lượng gia công bề mặt các sản phẩm gỗ có biên dạng 3D phức tạp và khoảng trống nghiên cứu hiện nay về công nghệ đánh nhẵn bằng chổi trục. Kết quả của đề tài khoa học công nghệ cấp thành phố đã thiết kế, chế tạo thiết bị đánh nhẵn chổi trục phục vụ gia công các chi tiết gỗ chạm khắc và trang trí [6]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tập trung đánh giá ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương 3D thông qua các chỉ tiêu độ nhám bề mặt, chất lượng ngoại quan và độ đồng đều bề mặt sau gia công.

Điểm mới của nghiên cứu là đánh giá một cách có hệ thống ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đối với quá trình đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương trên thiết bị đánh nhẵn chổi trục do nhóm tác giả thiết kế và chế tạo, đồng thời xác định được chế độ công nghệ phù hợp cho loại gỗ này. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ mối quan hệ giữa tốc độ đẩy phôi và chất lượng bề mặt sản phẩm, cung cấp cơ sở khoa học cho việc hoàn thiện quy trình công nghệ, nâng cao hiệu quả ứng dụng thiết bị trong sản xuất đồ gỗ

nội thất và mỹ nghệ, đồng thời bổ sung dữ liệu thực nghiệm về công nghệ đánh nhẵn các bề mặt gỗ tự nhiên có biên dạng 3D phức tạp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu là gỗ Hương (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) có nguồn gốc nhập khẩu từ Nam Phi, được sử dụng phổ biến ở Việt Nam trong sản xuất đồ gỗ nội thất và sản phẩm mỹ nghệ cao cấp. Gỗ có khối lượng riêng lớn, độ cứng cao, cấu trúc thớ tương đối mịn và đan xen, phù hợp để đánh giá khả năng gia công của thiết bị đánh nhẵn đối với các loại gỗ tự nhiên có giá trị kinh tế cao.

Mẫu thí nghiệm được chế tạo từ gỗ Hương có kích thước $400 \times 400 \times 18$ mm. Bề mặt mẫu được gia công CNC tạo biên dạng 3D dạng cánh hoa đối xứng với chiều sâu lồi, lõm từ 5–10 mm. Độ ẩm mẫu thí nghiệm 10–12%. Trên bề mặt tồn tại đồng thời các vùng lồi, vùng lõm, vùng chuyển tiếp cong và các khe góc nhỏ, đại diện cho các dạng hình học thường gặp trên sản phẩm gỗ chạm khắc và trang trí nội thất. Mẫu được lựa chọn nhằm đánh giá khả năng đánh nhẵn của thiết bị chổi trục đối với các bề mặt 3D có hình dạng phức tạp và độ cong thay đổi liên tục. Đối với mỗi chế độ thí nghiệm, chuẩn bị 03 mẫu độc lập và lặp lại 03 lần nhằm bảo đảm độ tin cậy của kết quả.

2.2. Thiết bị thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trên thiết bị đánh nhẵn chổi trục do đề tài thiết kế và chế tạo (Hình 1, 2) [6]. Thiết bị gồm hệ thống băng tải cấp phôi tự động kết hợp các cụm chổi nhám quay, cho phép gia công các chi tiết gỗ có bề mặt 3D với độ sâu chạm khắc đến 12 mm. Các thông số kỹ thuật chính của thiết bị được trình bày ở Bảng 1. Trong nghiên cứu này, tốc độ quay của chổi nhám, loại vật liệu nhám và áp lực gia công được giữ cố định; chỉ thay đổi tốc độ đẩy phôi để đánh giá mức độ ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt sau đánh nhẵn.



Hình 1. Thiết bị đánh nhẵn 3D được thiết kế, chế tạo



Hình 2. Thực nghiệm đánh nhẵn sản phẩm gỗ 3D

Độ nhám bề mặt được xác định bằng thiết bị đo độ nhám INSIZE ISR-C300 sử dụng đầu đo stylus kim cương (Hình 3). Chỉ tiêu đánh giá là

độ nhám R_z (μm), được xác định theo phương pháp tiếp xúc.



Hình 3. Thiết bị đo độ nhám bề mặt INSIZE ISR-C300

Bảng 1. Thiết bị đánh nhẵn tự động các chi tiết gỗ có bề mặt 3D [6]

TT	Thông số kỹ thuật	Đơn vị	Ghi chú
1	Kích thước thiết bị (D×R×C)	mm	3300 x 1950 x 1600
2	Kích thước làm việc (D×R×C)	mm	2400 x 1300 x 120
3	Tốc độ đánh nhẵn	m/phút	3 ÷ 20
4	Kích thước trục đánh nhẵn ($\varnothing$ x D)	mm	$\varnothing 170$ x 1330
5	Động cơ trục đánh nhẵn theo chiều dọc	-	
5.1	Công suất	kW	3 x 1,5
5.2	Tốc độ quay	Vòng/ph	1450
6	Động cơ đánh nhẵn theo chiều ngang		
6.1	Công suất	kW	2 x 0,55
6.2	Tốc độ quay	Vòng/phút	1450

2.3. Bố trí thí nghiệm

Nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm một nhân tố, trong đó tốc độ đẩy phôi được lựa chọn là yếu tố khảo sát chính. Ba mức

tốc độ đẩy phôi được lựa chọn gồm: $V_1 = 3$ m/phút; $V_2 = 6$ m/phút; $V_3 = 9$ m/phút. Mỗi chế độ thí nghiệm được thực hiện trên 03 mẫu độc lập và lặp lại 03 lần, tổng cộng 09 phép thử cho

mỗi chế độ. Các thông số công nghệ khác được giữ không đổi trong toàn bộ quá trình thí nghiệm.

Các bước thực nghiệm đánh nhẵn mẫu thí nghiệm:

- Đưa mẫu lên băng tải;
- Điều chỉnh đúng tốc độ cấp phôi theo chế độ xác định;
- Vận hành thiết bị: cài đặt các thông số của máy đánh nhẵn;
- Thực nghiệm đánh nhẵn chi tiết mẫu trên máy đánh nhẵn chổi trục 2-3 lần phụ thuộc vào mức độ phức tạp hình dạng 3D của mẫu thí nghiệm;
- Hoàn thành toàn bộ quá trình đánh nhẵn;
- Vệ sinh bụi trên bề mặt trước khi đo.

Sau khi gia công, chất lượng bề mặt được đánh giá tại các vị trí đặc trưng trên chi tiết 3D gồm: vùng lồi, vùng lõm và vùng chuyển tiếp cong. Đây là các khu vực thường xuất hiện vết dao CNC, xơ lông và có mức độ tiếp cận khác nhau của chổi nhám.

2.4. Phương pháp đánh giá chất lượng bề mặt

Hiệu quả đánh nhẵn được đánh giá thông qua các chỉ tiêu:

- Độ nhám bề mặt R_z (μm);
- Chất lượng ngoại quan bề mặt;
- Độ đồng đều của bề mặt sau gia công.

a) Đo độ nhám bề mặt

Độ nhám bề mặt sau đánh nhẵn được xác định bằng thiết bị đo độ nhám INSIZE ISR-C300, sử dụng đầu dò kim cương (stylus) với chỉ tiêu đánh giá là độ nhám R_z .

Do mẫu thí nghiệm có biên dạng 3D gồm các vùng phẳng, vùng lồi, vùng lõm và các bề mặt chuyển tiếp cong, phương pháp đo được lựa chọn phù hợp với từng vị trí trên bề mặt mẫu. Đối với các vùng bề mặt phẳng hoặc có độ cong nhỏ cho phép đầu dò tiếp xúc ổn định, độ nhám được đo trực tiếp bằng thiết bị INSIZE ISR-C300 theo phương pháp stylus. Đối với các vùng lõm sâu, khe rãnh hoặc các vị trí có biên dạng phức tạp mà đầu dò khó tiếp cận hoặc không bảo đảm độ chính xác khi đo trực tiếp, nghiên cứu sử dụng phương pháp tạo bản sao bề mặt bằng băng keo Testex Press-O-Film.

Băng keo Testex được ép lên bề mặt cần đo bằng lực ép đồng đều để sao chép hình dạng vi hình học của bề mặt gỗ. Sau khi bóc tách khỏi bề mặt mẫu, bản sao được đo bằng thiết bị INSIZE ISR-C300 nhằm xác định giá trị độ nhám R_z tương ứng. Phương pháp này cho phép đánh giá độ nhám tại các vùng hình học phức tạp mà vẫn bảo đảm tính lặp lại và khả năng so sánh kết quả giữa các vị trí đo (Hình 4).



Hình 4. Đo độ nhám bề mặt bằng phương pháp băng keo

Tại mỗi vị trí khảo sát, phép đo được thực hiện lặp lại tối thiểu 03 lần và sử dụng giá trị trung bình để xử lý số liệu. Các điểm đo được bố trí tại vùng lồi, vùng lõm, vùng chuyển tiếp cong và các vị trí đặc trưng trên bề mặt chi tiết nhằm phản ánh đầy đủ chất lượng đánh nhẵn của sản phẩm gỗ 3D sau gia công. Tại mỗi vị trí đo, phép đo được lặp lại tối thiểu 03 lần và sử dụng giá trị trung bình cho xử lý số liệu.

b) Phương pháp đánh giá ngoại quan bằng phương pháp chuyên gia

Chất lượng ngoại quan bề mặt sau đánh nhẵn được đánh giá bằng phương pháp chuyên gia kết hợp cho điểm. Các chuyên gia là những người có trình độ chuyên môn và kinh nghiệm thực tế trong lĩnh vực gia công, đánh nhẵn và hoàn thiện sản phẩm gỗ. Việc đánh giá được thực hiện độc lập đối với từng mẫu thí nghiệm

dưới cùng điều kiện chiếu sáng và quan sát. Đánh giá ngoại quan được thực hiện bằng phương pháp quan sát trực tiếp, tập trung vào các chỉ tiêu: mức độ loại bỏ vết dao CNC, hiện tượng xơ lông bề mặt, vết sọc do đánh nhẵn và tính đồng đều của bề mặt sau gia công.

c) *Xác định tỷ lệ diện tích đánh nhẵn đạt yêu cầu*

Sau khi chà nhám, bề mặt mẫu được chia thành ba vùng khảo sát gồm vùng lồi, vùng chuyển tiếp và vùng lõm. Trên mỗi vùng đặt khung lưới trong suốt có kích thước ô 10×10 mm để đánh giá mức độ hoàn thiện bề mặt. Các ô lưới được xem là đạt yêu cầu khi không xuất hiện vết dao, xơ lông, vết xước hoặc hiện tượng sót nhám quan sát được bằng mắt thường. Tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu được xác định bằng tỷ số giữa số ô đạt yêu cầu và tổng số ô khảo sát của từng vùng, biểu thị theo phần trăm. Kết quả cuối cùng là giá trị trung bình của các mẫu lặp trong cùng chế độ thí nghiệm.

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu thí nghiệm được xử lý bằng phương pháp thống kê mô tả nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương. Các chỉ tiêu thống kê được xác định bao gồm giá trị trung bình (Mean), độ lệch chuẩn (Standard Deviation - SD) và hệ số biến động (Coefficient of Variation - CV).

Giá trị trung bình được sử dụng để đánh giá mức độ thay đổi của độ nhám bề mặt giữa các chế độ thí nghiệm. Độ lệch chuẩn (SD) phản ánh mức độ phân tán của các kết quả đo quanh giá trị trung bình, trong khi hệ số biến động (CV) được sử dụng để đánh giá tính đồng đều và độ ổn định của quá trình đánh nhẵn. Giá trị CV càng nhỏ chứng tỏ chất lượng bề mặt sau gia công càng đồng đều và kết quả thí nghiệm có độ tin cậy cao hơn.

Các số liệu được tổng hợp, tính toán và trình bày dưới dạng bảng biểu để phục vụ phân tích, so sánh giữa các mức tốc độ đẩy phôi khảo sát.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến độ nhám bề mặt

Để đánh giá độ tin cậy và tính ổn định của kết quả thí nghiệm, tại mỗi chế độ tốc độ đẩy phôi (3; 6 và 9 m/phút), mẫu gỗ Hương 3D được đánh nhẵn trên cùng điều kiện công nghệ và tiến hành đo độ nhám bề mặt (R_z) ba lần lặp độc lập. Mỗi lần lặp, độ nhám được xác định tại ba vị trí đặc trưng của bề mặt 3D gồm vùng lồi, vùng chuyển tiếp và vùng lõm; sau đó tính giá trị trung bình của từng mẫu. Kết quả đo của các lần lặp được trình bày trong Bảng 2, là cơ sở để xác định giá trị trung bình, độ lệch chuẩn (SD) và hệ số biến động (CV) của từng chế độ tốc độ đẩy phôi, đồng thời đánh giá mức độ ổn định của quá trình đánh nhẵn.

Bảng 2. Kết quả đo độ nhám bề mặt (R_z) của các lần lặp thí nghiệm theo tốc độ đẩy phôi

Tốc độ Đẩy phôi, m/phút	Lần đo	Vùng đo độ nhẵn bề mặt, R_z			Giá trị trung bình của mẫu (μm), R_z
		Vùng lồi (μm)	Vùng chuyển tiếp (μm)	Vùng lõm (μm)	
3	Lần 1	11,20	12,54	13,24	12,33
	Lần 2	9,50	11,15	12,56	11,07
	Lần 3	9,80	11,58	12,65	11,34
	Trung bình	10,10	11,80	12,80	11,57
6	Lần 1	9,12	10,23	11,16	10,17
	Lần 2	8,36	9,56	10,76	9,56
	Lần 3	8,58	10,04	11,23	9,95
	Trung bình	8,70	10,01	11,05	9,92
9	Lần 1	12,56	14,23	15,23	14,01
	Lần 2	11,35	13,24	14,87	13,15
	Lần 3	12,02	13,65	14,37	13,35
	Trung bình	11,98	13,71	14,82	13,50

Kết quả ở Bảng 2 cho thấy giá trị độ nhám giữa ba lần lặp của mỗi chế độ có sự dao động không lớn. Giá trị trung bình của các mẫu dao động từ 11,07–12,33 μm đối với tốc độ đẩy phôi 3 m/phút; từ 9,56–10,17 μm đối với tốc độ 6 m/phút; từ 13,15–14,01 μm đối với tốc độ 9 m/phút. Mức chênh lệch giữa các lần lặp đều nhỏ hơn 1,3 μm , cho thấy điều kiện thí nghiệm

được kiểm soát tốt và kết quả đo có tính lặp lại cao. Hệ số dao động nhỏ giữa các lần lặp cũng cho thấy thiết bị đánh nhẵn chổi trục hoạt động ổn định và quy trình thí nghiệm có độ tin cậy tốt. Trên cơ sở các số liệu này, giá trị trung bình của từng chế độ được tổng hợp và phân tích trong Bảng 3.

Bảng 3. Giá trị độ nhám Rz của gỗ Hương theo tốc độ đẩy phôi

Tốc độ đẩy phôi (m/phút)	Độ nhám bề mặt Rz, μm			Chỉ số thống kê		
	Vùng lõi	Vùng chuyển tiếp	Vùng lõm	Trung bình	Độ lệch chuẩn, SD	Hệ số biến động, CV (%)
3	10,1	11,8	12,8	11,6	0,71	6,34
6	8,7	10,0	11,0	9,9	0,55	5,73
9	12,0	13,7	15,1	13,6	0,88	6,67

Kết quả cho thấy độ nhám bề mặt phụ thuộc rõ rệt vào tốc độ đẩy phôi. Ở tất cả các chế độ khảo sát, giá trị Rz tại vùng lõm và vùng chuyển tiếp luôn cao hơn vùng lõi. Nguyên nhân là do khả năng tiếp xúc của sợi chổi tại các vị trí này bị hạn chế bởi hình dạng hình học phức tạp của bề mặt, dẫn đến hiệu quả loại bỏ vết dao CNC thấp hơn. Tại vùng lõm, góc tiếp xúc giữa sợi chổi và bề mặt nhỏ hơn, khả năng biến dạng đàn hồi của sợi chổi bị hạn chế, làm giảm áp lực tiếp xúc và chiều sâu cắt gọt vi mô. Vì vậy, hiệu quả loại bỏ vết dao sau gia công CNC thấp hơn so với vùng lõi.

Trong ba chế độ khảo sát, tốc độ đẩy phôi 6 m/phút cho giá trị độ nhám thấp nhất với Rz trung bình đạt 9,9 μm . So với tốc độ 3 m/phút và 9 m/phút, giá trị Rz giảm lần lượt 14,7% và 27,2%. Đồng thời, độ lệch chuẩn và hệ số biến động tại chế độ này cũng nhỏ nhất, cho thấy chất lượng bề mặt đồng đều hơn.

Đối với gỗ Hương, tốc độ đẩy phôi quá thấp không mang lại hiệu quả cải thiện tương ứng về chất lượng bề mặt. Do đặc điểm thớ gỗ đan xen và độ cứng cao, thời gian tiếp xúc kéo dài có thể làm gia tăng hiện tượng ma sát cục bộ, tạo nên các vết xước vi mô trên bề mặt. Ngược lại, khi tốc độ đẩy phôi tăng lên 9 m/phút, thời gian tác động của vật liệu nhám giảm đáng kể, dẫn đến khả năng làm sạch vết dao và xơ sợi giảm, đặc biệt tại các vùng lõm sâu. Kết quả này phù hợp với xu hướng được công bố trong các nghiên cứu về đánh nhẵn và gia công bề mặt gỗ, trong

đó tốc độ cấp phôi là một trong những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt sau gia công.

Kết quả nghiên cứu phù hợp với xu hướng đã được công bố trong nhiều nghiên cứu về gia công tinh bề mặt gỗ. Hiziroglu và Barbu (2009) [7] cho rằng chất lượng bề mặt sau chà nhám phụ thuộc trực tiếp vào điều kiện tiếp xúc giữa hạt nhám và bề mặt vật liệu, trong đó các thông số công nghệ như tốc độ cấp phôi, cỡ hạt nhám và áp lực tiếp xúc quyết định đáng kể đến giá trị độ nhám bề mặt. Magoss (2015) [8] cũng chỉ ra rằng các thông số độ nhám như Rz tăng khi hiệu quả cắt gọt của hạt mài giảm hoặc khi bề mặt xuất hiện hiện tượng biến dạng và bít kín (clogging) do điều kiện chà nhám không phù hợp. Đối với bề mặt gỗ có hình dạng phức tạp như chi tiết 3D, sự thay đổi góc tiếp xúc giữa chổi nhám và bề mặt càng làm gia tăng sự khác biệt về chất lượng giữa vùng lõi, vùng chuyển tiếp và vùng lõm, phù hợp với kết quả thu được trong nghiên cứu này. Ngoài ra, nghiên cứu của Madan và Bădescu (2015) [9] về đánh nhẵn bằng chổi nhám cũng cho thấy tốc độ quay và tốc độ cấp phôi cần được lựa chọn đồng bộ để đạt được chất lượng bề mặt tối ưu; nếu tốc độ cấp phôi quá lớn sẽ làm giảm thời gian tiếp xúc của sợi chổi với bề mặt, từ đó làm tăng giá trị độ nhám.

3.2. Đánh giá ngoại quan và độ đồng đều bề mặt

Bên cạnh chỉ tiêu độ nhám, chất lượng đánh nhẵn còn được đánh giá thông qua các chỉ tiêu

ngoại quan bao gồm: mức độ loại bỏ vết dao CNC, hiện tượng xơ lông bề mặt, độ đồng đều và tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu kỹ thuật. Kết quả đánh giá được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4. Đánh giá ngoại quan và độ đồng đều bề mặt gỗ Hương theo tốc độ đẩy phôi

Tốc độ đẩy phôi (m/phút)	Điểm ngoại quan (1–5)	Tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu (%)			Độ đồng đều bề mặt	Hiện tượng quan sát được
		Vùng lõi	Vùng lõm	Vùng lõm/chuyển tiếp		
3	4,2 ± 0,2	94,8	92,5	90,2	Tốt	Bề mặt sạch vết dao, rất ít xơ lông, độ đồng đều cao; vùng lõi nhẵn hơn vùng lõm.
6	4,8 ± 0,1	98,9	97,8	96,7	Rất tốt	Bề mặt đồng đều nhất, hầu như không còn vết dao và xơ lông; vùng lõi và vùng lõm đều đạt chất lượng cao.
9	3,5 ± 0,3	88,1	84,6	81,2	Trung bình	Xuất hiện vết sọc theo chiều cấp phôi, một số vùng lõm còn sót nhám; độ đồng đều giảm rõ rệt ở vùng lõm/chuyển tiếp.

Ghi chú: Điểm ngoại quan được xác định theo thang điểm 5, trong đó: 1 – rất kém; 2 – kém; 3 – trung bình; 4 – tốt; 5 – rất tốt. Điểm đánh giá là giá trị trung bình của ba lần lặp thí nghiệm.

Bên cạnh chỉ tiêu độ nhám, chất lượng đánh nhẵn bề mặt còn được đánh giá thông qua các chỉ tiêu ngoại quan như mức độ loại bỏ vết dao sau gia công CNC, hiện tượng xơ lông bề mặt, độ đồng đều giữa các vùng hình học và tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu kỹ thuật. Kết quả đánh giá được tổng hợp trong Bảng 3.

Kết quả ở Bảng 4 cho thấy chất lượng ngoại quan của bề mặt gỗ Hương có xu hướng biến đổi tương đồng với kết quả độ nhám bề mặt. Trong ba chế độ khảo sát, tốc độ đẩy phôi 6 m/phút cho kết quả tốt nhất với điểm ngoại quan đạt 4,8/5, tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu trên toàn bộ bề mặt đạt từ 96,7–98,9% và độ đồng đều bề mặt được đánh giá ở mức rất tốt. Bề mặt sau đánh nhẵn hầu như không còn dấu vết gia công CNC, hiện tượng xơ lông được loại bỏ hiệu quả và chất lượng đánh nhẵn giữa các vùng lõi, vùng lõm cũng như vùng chuyển tiếp tương đối đồng nhất.

Ở tốc độ đẩy phôi 3 m/phút, bề mặt đạt chất lượng khá tốt với điểm ngoại quan trung bình 4,2/5. Các vết dao và xơ lông cơ bản được loại bỏ, tuy nhiên vẫn tồn tại sự khác biệt nhất định giữa vùng lõi và vùng lõm. Tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu dao động từ 90,2–94,8%, thấp hơn so với chế độ 6 m/phút.

Khi tăng tốc độ đẩy phôi lên 9 m/phút, chất lượng bề mặt suy giảm rõ rệt. Điểm ngoại quan chỉ đạt 3,5/5, đồng thời tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu giảm xuống còn 81,2–88,1%. Trên bề mặt xuất hiện các vết sọc theo hướng cấp phôi, đặc biệt tại các vùng lõm sâu và vùng chuyển tiếp hình học vẫn còn hiện tượng sót nhám. Điều này cho thấy thời gian tác động của sợi chổi lên bề mặt không đủ để thực hiện quá trình cắt gọt vi mô và làm sạch hoàn toàn các khuyết tật còn lại sau gia công CNC.

Nhìn chung, tốc độ đẩy phôi ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương 3D. Trong phạm vi nghiên cứu, tốc độ đẩy phôi 6 m/phút cho sự cân bằng tốt nhất giữa khả năng nâng cao chất lượng bề mặt và năng suất gia công, đồng thời bảo đảm độ đồng đều trên các vùng hình học phức tạp của chi tiết.

Xu hướng biến đổi về chất lượng ngoại quan trong nghiên cứu này cũng phù hợp với các kết quả đã được công bố đối với quá trình chà nhám gỗ. Adamčík và cộng sự (2024) [10] cho thấy bề mặt có độ nhám thấp thường đồng thời có độ đồng đều cao hơn, ít xơ lông và ít vết xước hơn, từ đó tạo điều kiện thuận lợi cho các công đoạn hoàn thiện bề mặt tiếp theo như sơn

phủ hoặc dán phủ. Tương tự, Kılıç và cộng sự (2015) [11] khẳng định rằng chất lượng bề mặt phụ thuộc đồng thời vào chế độ gia công và phương pháp gia công; khi điều kiện cắt không phù hợp sẽ làm gia tăng các khuyết tật bề mặt mặc dù giá trị trung bình của độ nhám có thể không thay đổi nhiều. Đối với thiết bị chổi trục được sử dụng trong nghiên cứu này, kết quả cho thấy tốc độ đẩy phôi 6 m/phút tạo ra sự cân bằng hợp lý giữa thời gian tiếp xúc, khả năng cắt gọt vi mô của sợi chổi và năng suất gia công, nhờ đó đạt được chất lượng ngoại quan và độ đồng đều bề mặt cao nhất.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của tốc độ đẩy phôi đến chất lượng đánh nhẵn bề mặt gỗ Hương 3D bằng thiết bị đánh nhẵn chổi trục do nhóm tác giả thiết kế và chế tạo.

Kết quả thực nghiệm cho thấy tốc độ đẩy phôi là thông số công nghệ có ảnh hưởng rõ rệt đến độ nhám, độ đồng đều và chất lượng ngoại quan của bề mặt sau đánh nhẵn. Trong phạm vi khảo sát từ 3–9 m/phút, khi tốc độ đẩy phôi tăng từ 3 lên 6 m/phút, chất lượng bề mặt được cải thiện đáng kể; tuy nhiên khi tiếp tục tăng lên 9 m/phút, chất lượng bề mặt có xu hướng giảm.

Tốc độ đẩy phôi 6 m/phút cho kết quả tối ưu với độ nhám trung bình R_z đạt 9,6 μm , thấp hơn 14,3% so với tốc độ 3 m/phút và thấp hơn 27,3% so với tốc độ 9 m/phút. Đồng thời, bề mặt đạt độ đồng đều cao nhất ($CV = 5,73\%$), điểm đánh giá ngoại quan đạt 4,8/5 và tỷ lệ diện tích đạt yêu cầu từ 96,7–98,9%.

Khi tốc độ đẩy phôi tăng lên 9 m/phút, thời gian tiếp xúc giữa sợi chổi và bề mặt gỗ giảm, làm giảm hiệu quả cắt gọt vi mô, dẫn đến hiện tượng sót nhám và giảm độ đồng đều bề mặt, đặc biệt tại các vùng lõm và vùng chuyển tiếp hình học của chi tiết 3D.

Trên cơ sở các kết quả thu được, tốc độ đẩy phôi 6 m/phút được đề xuất là chế độ công nghệ phù hợp cho quá trình đánh nhẵn bề mặt

gỗ Hương 3D bằng thiết bị chổi trục, góp phần nâng cao chất lượng bề mặt đồng thời bảo đảm hiệu quả sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. E. Magoss (2008). General Regularities of Wood Surface Roughness. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 4: 81–93. DOI: 10.37045/aslh-2008-0008
- [2]. H. Thoma, L. Peri & E. Lato (2015). Evaluation of wood surface roughness depending on species characteristics. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 17(2): 285–292. DOI: 10.4067/S0718-221X2015000200007
- [3]. M. H. De Paula, R. R. S. Mesquita, M. A. Costa, J. C. Gonzalez, R. A. Ananías & G. Janin (2020). Effect of applying finishing products and sanding on the surface of marupa wood. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 22(1): 45–58. DOI: 10.4067/S0718-221X2020000100045
- [4]. M. Bembenek (2022). Researches on influence of wood sanding direction on wood gluing. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. 19(2): 126–133. DOI: 10.1007/s13196-022-00297-5
- [5]. L. Qing, Z. F. Li & D. Xing (2018). Study on Evaluation Method of Surface Roughness of Wood Processing. In *Proceedings of the International Conference on Materials Science and Engineering (ICMSE 2018)*. SciTePress.
- [6]. Vũ Huy Đại, Tạ Thị Phương Hoa, Trần Công Chi, Nguyễn Thị Loan & Nguyễn Thế Nghiệp (2026). Báo cáo kết quả nghiên cứu Đề tài “Nghiên cứu công nghệ, thiết kế và chế tạo thiết bị đánh nhẵn tự động các chi tiết sản phẩm gỗ có bề mặt 3D”. Báo cáo kết quả nghiên cứu năm 2026 đề tài KHCN cấp tỉnh.
- [7]. S. Hiziroglu & M. C. Barbu (2009). On Surface Roughness Evaluation of Wood Based Composites. *Proceedings of the International Conference Wood Science and Engineering in the Third Millennium*.
- [8]. E. Magoss (2015). Evaluating of the Surface Roughness of Sanded Wood. *Wood Research*. 60(5): 783–790.
- [9]. R. L. Madan & L. A. M. Bădescu (2015). Comparative Researches on the Roughness of Sanded Wooden Surfaces with Wide Belt and Abrasive Brushes. *Procedia Engineering*. 100: 1485–1494.
- [10]. L. Adamčík, L. Dzurenda, A. Banski & R. Kminiak (2024). Comparison of Surface Roughness of Beech Wood after Sanding with an Eccentric and Belt Sander. *Forests*. 15(1): 45.
- [11]. M. Kılıç, S. Hiziroglu & E. Burdurlu (2015). Effects of Machining Methods on the Surface Roughness of Black Pine Wood. *BioResources*. 10(3): 5554–5562.