

THIẾT KẾ CHẾ TẠO BỘ CẤP PHÔI VÀ DẬP CÁNH QUẠT LY TÂM BÁN TỰ ĐỘNG DÙNG TRONG HỆ THỐNG HÚT BỤI VÀ SỢI THUỐC LÁ

DESIGN AND FABRICATION OF A SEMI-AUTOMATED FEEDING AND STAMPING SYSTEM FOR CENTRIFUGAL FAN BLADES USED IN TOBACCO DUST AND FIBER EXTRACTION SYSTEMS

Phạm Trọng Nhân*, Phùng Trí Công, Văn Ngọc Hiệp, Đỗ Huỳnh Nhật
Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh
Email: ptnhan@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Trong các hệ thống hút bụi và sợi thuốc lá, cánh quạt hút ly tâm là bộ phận quan trọng, đòi hỏi độ bền cao, biên dạng khí động học chính xác và khả năng cân bằng tốt. Tuy nhiên, các sản phẩm chế tạo trong nước hiện nay thường có độ bền thấp và sai lệch lớn do sử dụng phương pháp chế tạo thủ công như hàn, tán hoặc đúc nguyên khối, dẫn đến năng suất thấp và khó đảm bảo chất lượng đồng đều. Trong khi đó, các cánh quạt nhập khẩu có chất lượng cao hơn nhưng giá thành rất cao, thời gian đặt hàng và vận chuyển kéo dài, gây tổn kém chi phí lưu kho và đầu tư ban đầu. Nghiên cứu này đề xuất một quy trình gia công bán tự động mới để chế tạo cánh quạt hút ly tâm có biên dạng phù hợp giúp cải thiện đáng kể độ chính xác hình học và độ bền so với phương pháp thủ công truyền thống. Kết quả nghiên cứu cho thấy với lực chấn trong khoảng 1620 – 14330 (N) cho ra sản phẩm đạt được độ tương thích biên dạng cao nhất với hệ số R bình phương hiệu chỉnh là 96,7% so với thiết kế tiêu chuẩn, điều này chứng tỏ độ tin cậy cao của quy trình đề xuất. Nhờ đó, phương pháp bán tự động không chỉ giúp tiết kiệm đáng kể chi phí chế tạo mà còn đảm bảo chất lượng và độ ổn định tương đương với sản phẩm nhập khẩu. Đây là một hướng đi đầy tiềm năng trong việc nội địa hóa sản xuất quạt ly tâm phục vụ nhu cầu trong nước.

Từ khóa: Cánh quạt hút ly tâm; Hệ thống bán tự động.

ABSTRACT

In industrial ventilation systems, centrifugal fan blades are critical components that require high durability, precise aerodynamic profiles, and good dynamic balance. However, domestically manufactured blades currently exhibit low durability and significant geometric deviations due to manual fabrication methods such as welding, riveting, or casting, which result in low productivity and inconsistent quality. In contrast, imported blades offer superior quality but come at a high cost, with long lead times and added expenses related to storage and initial investment. This study proposes a novel semi-automated manufacturing process for producing centrifugal fan blades with complex profiles, significantly improving geometric accuracy and durability compared to

traditional manual methods. The research results show that with an impact force ranging from 1620 to 14330 N, the fabricated products achieved the highest profile conformity, with an adjusted R-squared value of 96,7% compared to the standard design. This indicates the high reliability of the proposed semi-automated manufacturing process. As a result, the method not only significantly reduces production costs but also ensures product quality and stability comparable to imported components. This represents a highly promising approach toward the localization of centrifugal fan production to meet domestic industrial demands.

Keywords: *Centrifugal propeller; Semi-automated system.*

1. TỔNG QUAN

Đối với các hệ thống hút bụi và sợi trong công nghiệp, cánh quạt hút ly tâm là một trong những bộ phận quan trọng, đóng vai trò quyết định đến hiệu suất làm việc và độ ổn định của toàn bộ hệ thống [1-2]. Bên cạnh đó, để đảm nhiệm hiệu quả hoạt động, cánh quạt cần đáp ứng những yêu cầu khắt khe về độ bền cơ học, biên dạng khí động học chính xác và khả năng cân bằng động ở tốc độ cao [3]. Tuy nhiên, thực trạng hiện nay tại Việt Nam cho thấy phần lớn các cánh quạt đang được chế tạo bằng phương pháp thủ công như hàn từng cánh, tán thủ công hoặc đúc nguyên khối. Những phương pháp này mặc dù đơn giản và ít tốn chi phí đầu tư ban đầu nhưng lại gây ra nhiều vấn đề nghiêm trọng như sai số hình học lớn, độ đảo cao, và năng suất sản xuất thấp [4-5].

Trong bối cảnh các ngành công nghiệp trọng điểm như thực phẩm, điện tử, dược phẩm và xử lý môi trường ngày càng đòi hỏi thiết bị thông gió có chất lượng cao, việc sử dụng cánh quạt nhập khẩu đang trở nên phổ biến hơn [6]. Một nghiên cứu gần đây đã cho thấy rằng tại các quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam, tỷ lệ nhập khẩu các thiết bị quạt công nghiệp có xu hướng gia tăng rõ rệt trong thập kỷ qua do sự thiếu hụt công nghệ chế tạo chính xác trong nước [7]. Điều này phản ánh thực tế rằng các sản phẩm nội địa chưa đủ khả năng

cạnh tranh về chất lượng, đặc biệt là trong các ứng dụng yêu cầu độ chính xác và độ tin cậy cao.

Sự phụ thuộc vào sản phẩm nhập khẩu không chỉ làm gia tăng chi phí và rủi ro trong chuỗi cung ứng mà còn hạn chế khả năng tự chủ công nghệ trong nước, như chi phí lưu kho cao, thời gian đặt hàng kéo dài dẫn đến không chủ động được nguồn cung [8]. Đặc biệt, trong bối cảnh chuỗi cung ứng toàn cầu đang bị gián đoạn bởi các yếu tố địa chính trị và biến đổi khí hậu, việc nội địa hóa các sản phẩm cơ khí quan trọng như cánh quạt hút ly tâm là một yêu cầu cấp bách [9]. Một số nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng việc ứng dụng các công nghệ hiện đại như cắt laser CNC, dập định hình bằng khuôn và tổ hợp tự động có thể giúp cải thiện đáng kể độ chính xác hình học và tính đồng đều của sản phẩm [10-12]. Điều này mở ra cơ hội lớn cho việc phát triển một quy trình chế tạo bán tự động, vừa giúp giảm chi phí sản xuất, vừa đảm bảo chất lượng tương đương hoặc tiệm cận với sản phẩm nhập khẩu. Nghiên cứu này nhằm đề xuất một quy trình bán tự động cho chế tạo cánh quạt hút ly tâm có biên dạng phức tạp, độ bền cao và khả năng cân bằng động tốt.

Quy trình đề xuất bao gồm ba công đoạn chính, bắt đầu từ việc cắt phôi bằng công nghệ laser CNC nhằm đảm bảo độ chính xác hình học, tạo hình biên dạng cánh bằng phương pháp

pháp dập khuôn và cố định liên kết bằng tán nhôm sử dụng súng hơi trên đồ gá chuyên dụng. Sản phẩm sau gia công được đánh giá thông qua việc đối chiếu biên dạng với bản vẽ thiết kế tiêu chuẩn, đo lường độ đảo trục và xác định chỉ số mất cân bằng động. Mục tiêu của nghiên cứu là xác lập tính khả thi và hiệu quả kỹ thuật của quy trình bán tự động này trong việc thay thế các sản phẩm nhập khẩu, từ đó thúc đẩy quá trình nội địa hóa các thiết bị công nghiệp trọng điểm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan phương án

Nhóm tác giả đề xuất phương án sử dụng phương pháp gia công bán tự động bằng cách sử dụng phương pháp cắt laser CNC kết hợp chân, uốn có thể tạo ra thành phẩm hàng loạt, rút ngắn được thời gian sản xuất, đạt các yêu cầu về chất lượng, chi phí sản xuất số lượng lớn được giảm xuống đáng kể, các máy gia công cũng là những máy phổ biến như Bảng 1.

Bảng 1. Các máy gia công sử dụng

Loại máy	Tên Máy
Máy Laser CNC	AMADA LC2415aIIIINT
Máy chân	SATEC 2294SV

2.2. Quy trình gia công

**Chọn vật liệu gia công*

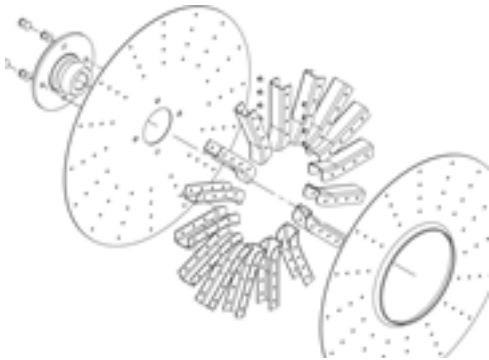
Nguyên liệu gia công cho cánh quạt được lựa chọn là Thép C45.

Bảng 2. Đặc tính Thép C45

Mác thép	Giới hạn chảy	Độ bền kéo	Độ giãn dài	Độ thắt	Độ dai va đập
	kg/mm ²		%		m/cm ²
	Không nhỏ hơn				
C45	36	61	16	40	5

**Chuẩn bị phôi cho cánh quạt*

Cánh quạt ly tâm được tạo ra bằng cách ghép các cánh quạt nhỏ nằm giữa 2 hình tròn lớn bằng các đinh tán. Sử dụng moay-ơ ở tâm quạt để truyền động cho quạt. Mô hình được thực hiện như Hình 1.



Hình 1. Mô hình cánh quạt ly tâm.

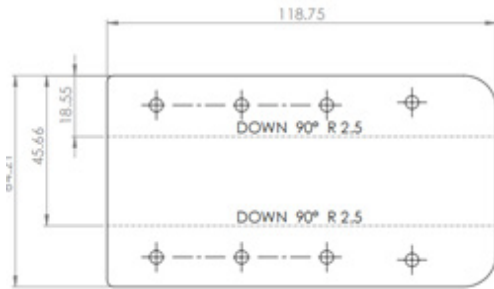
Như vậy, việc công tác chuẩn bị cho phôi sản phẩm bao gồm: 2 phôi thép lớn cho 2 vòng tròn đỡ cánh quạt, các tấm thép kích thước trung bình để gia các cánh quạt chữ U.

**Cắt phôi*

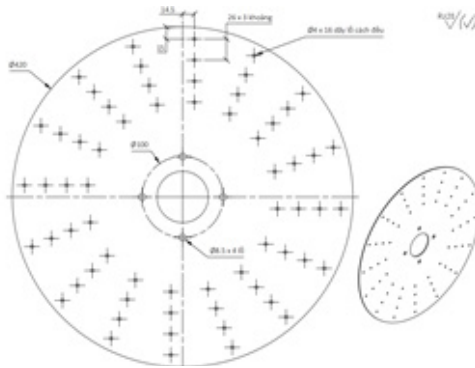
Chọn phôi là các tấm thép có độ dày yêu cầu như sau:

- Độ dày của cánh chữ U: 1,5 mm;
- Độ dày của đĩa cánh quạt: 2 mm.

Sau khi chọn phôi đạt yêu cầu, sử dụng máy cắt laser CNC để cắt phôi và tạo lỗ lắp cho phôi theo kích thước đã thiết kế để tạo ra thành phẩm có độ chính xác và tính đồng nhất giữa các sản phẩm.

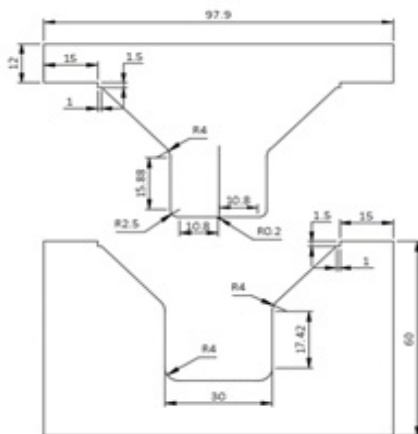


Hình 2. Biên dạng thiết kế của phôi cánh quạt



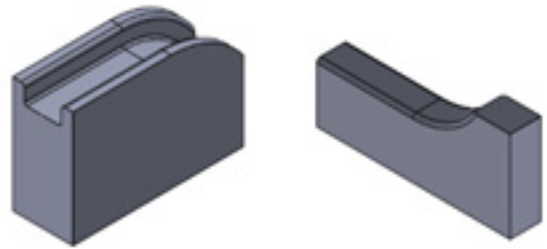
Hình 3. Biên dạng thiết kế của phôi đĩa quạt

*Tạo khuôn chân



Hình 4. Thiết kế của khuôn tạo hình cánh quạt

Cần gia công khuôn chân để tạo ra hình dạng của cánh quạt: 1 khuôn tạo cánh quạt hình chữ U, 1 khuôn làm cong 1 đầu của phôi cánh quạt. Khuôn chân được cắt bằng máy laser CNC.



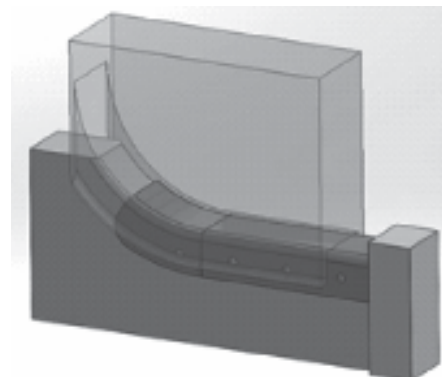
Hình 5. Thiết kế của khuôn uốn cong cánh quạt

*Gia công cánh quạt thành dạng chữ U

Cánh quạt được chuẩn bị ở bước 3 sẽ được sử dụng để tạo dạng hình chữ U. Cánh quạt được đặt vào khuôn cố định, máy chấn sẽ ép phôi xuống để tạo ra biên dạng chữ U cho cánh quạt. Lực chấn để tạo hình của quá trình sẽ tăng dần từ 1620 – 14430 (N).

*Gia công cánh quạt chữ U được uốn cong một đầu

Gá phôi chữ U sau khi chấn lên phần cố định của khuôn uốn cong, máy chấn tạo lực ép lên phôi để cánh quạt để có biên dạng cong ở đuôi như hình sau:



Hình 6. Gia công uốn cong cánh quạt



*Gắn cánh quạt với tấm đỡ quạt

Cánh quạt được gắn với 2 tấm đỡ quạt hình tròn bằng đinh tán, sử dụng súng hơi để đinh được cố định chắc chắn, các cánh quạt được bố trí hình tròn quanh tâm quạt.



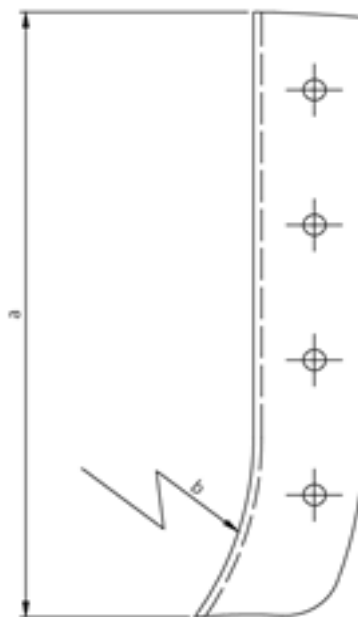
Hình 7. Cánh quạt hoàn thiện

3. KẾT QUẢ ĐO KIỂM VÀ THẢO LUẬN

Sau khi hoàn tất quá trình chế tạo theo quy trình bán tự động mà nhóm nghiên cứu đã đề xuất, tổng cộng 6 cụm sản phẩm đã được gia công thành công, trong đó mỗi cụm bao gồm 5 cánh quạt được lắp ráp và hoàn thiện đồng bộ.

Nhằm đánh giá mức độ chính xác và tính khả thi của quy trình chế tạo, nhóm tác giả đã tiến hành đối chiếu kích thước hình học của sản phẩm so với bản vẽ tiêu chuẩn bằng thiết bị đo biên dạng Mitutoyo Beyond A504, trả về dữ liệu tập hợp tọa độ các điểm của biên dạng và dùng phần mềm Matlab để kiểm tra, phân tích số liệu. Dữ liệu thu được từ quá trình đo đã được tổng hợp và phân tích để xác định sai số hình học, độ lệch kích thước và mức độ đồng đều giữa các sản phẩm trong cùng một lô. Từ đó, nhóm nghiên cứu có cơ sở để đánh giá độ chính xác trong gia công cũng như tính ổn định của quy trình chế tạo đã đề xuất. Kết quả ban đầu cho thấy các sai số kích thước nằm

trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn thiết kế, chứng minh tính ổn định và hiệu quả của quy trình trong điều kiện sản xuất thực tế.



Hình 8. Kích thước tiêu chuẩn cánh quạt hút ly tâm

Chú thích cho các bảng đánh giá:

MSE: Mean Squared Error;
PE: Percentage Error (%);
ME: Max Error (mm);
RS: R-Squared;
ARS: Adjusted R-Squared.

Bảng 3. Bảng đánh giá sản phẩm lô A

Sản phẩm	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5
MSE	0,483	0,787	1,462	0,623	0,179
PE	0,893	1,049	1,779	1,241	0,733
ME	1,956	2,495	3,160	2,155	1,129
RS	0,851	0,772	0,658	0,796	0,919
ARS	0,850	0,771	0,656	0,795	0,918

Bảng 4. Bảng đánh giá sản phẩm lô B

Sản phẩm	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5
MSE	0,252	0,275	0,116	0,111	0,137
PE	0,623	0,875	0,615	0,595	0,734
ME	1,466	1,411	0,829	0,826	0,922
RS	0,892	0,876	0,942	0,940	0,914
ARS	0,891	0,876	0,942	0,940	0,913

Bảng 5. Bảng đánh giá sản phẩm lô C

Sản phẩm	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5
MSE	0,204	0,333	0,203	0,517	0,217
PE	0,711	0,818	0,485	0,948	0,722
ME	2,246	2,809	2,463	3,379	2,263
RS	0,677	0,718	0,683	0,745	0,709
ARS	0,676	0,701	0,681	0,728	0,708

Bảng 6. Bảng đánh giá sản phẩm lô D

Sản phẩm	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5
MSE	1,360	1,017	1,188	0,866	1,994
PE	1,084	1,026	1,156	1,134	1,621
ME	3,274	2,868	3,091	2,499	3,666
RS	0,701	0,752	0,730	0,769	0,640
ARS	0,699	0,751	0,729	0,768	0,638

Bảng 7. Bảng đánh giá sản phẩm lô E

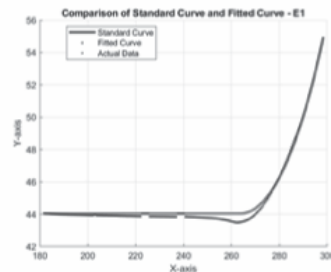
Sản phẩm	E.1	E.2	E.3	E.4	E.5
MSE	0,053	0,292	0,361	0,820	1,071
PE	0,431	0,686	0,917	1,313	1,158
ME	0,548	1,580	1,772	2,509	2,678
RS	0,967	0,890	0,832	0,779	0,745
ARS	0,966	0,890	0,831	0,778	0,744

Bảng 8. Bảng đánh giá sản phẩm lô F

Sản phẩm	F.1	F.2	F.3	F.4	F.5
MSE	0,082	0,141	0,082	0,121	0,140
PE	0,522	0,666	0,513	0,633	0,642
ME	1,135	1,080	0,916	1,076	1,486
RS	0,933	0,906	0,938	0,905	0,860
ARS	0,933	0,906	0,938	0,905	0,859

4. KẾT LUẬN

Kết quả đánh giá độ chính xác kích thước sản phẩm theo các tiêu chí định lượng như MSE (Mean Squared Error), PE (Percentage Error), ME (Max Error) và ARS (Adjusted R-Squared) cho thấy độ sai lệch giữa sản phẩm thực tế và kích thước thiết kế là rất nhỏ, đồng thời tính nhất quán trong gia công đạt mức cao. Cụ thể, giá trị MSE ở mức thấp chứng tỏ độ phân tán sai số không đáng kể, phản ánh chất lượng gia công ổn định. Chỉ số PE dao động trong ngưỡng cho phép, thể hiện sự chính xác tương đối giữa sản phẩm thực tế và thông số thiết kế ban đầu. Đặc biệt, giá trị ME thấp chứng minh rằng sai số cực đại của từng cụm sản phẩm đều nằm trong phạm vi kiểm soát, đảm bảo độ an toàn khi lắp ghép và vận hành. Bên cạnh đó, hệ số ARS cao cho thấy sự tương thích tốt giữa dữ liệu đo được và mô hình thiết kế lý thuyết, đồng thời khẳng định độ tin cậy cao của quá trình chế tạo.



Hình 9. Đồ thị đánh giá độ tương thích biên dạng sản phẩm và biên dạng chuẩn

Tiếp theo, để đánh giá khả năng cân bằng động của các cụm cánh quạt, nhóm nghiên cứu tiến hành kiểm tra theo sáng chế (VN)1-2014-03890: Dynamic Balancing System for Rotating [13] của PTN Tàu thủy, Trường ĐH Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh. Kết quả cho thấy quy trình bán tự động đã giảm trung bình mức mất cân bằng ban đầu từ 7,87 g xuống 5,55 g (giảm khoảng 30 %), với ba cụm đạt dưới 5 g, cho thấy độ đồng đều và độ tin cậy cao.

Bảng 9. Bảng so sánh mất cân bằng động giữa Phương pháp cũ và Phương pháp được nhóm tác giả đề xuất

Số thứ tự	Chỉ số mất cân bằng động trước khi cân cánh cũ	Chỉ số mất cân bằng động trước khi cân cánh mới
1	Bị đảo không cân bằng được	3,54g@208°
2	6,43g@35°	7,95g@100°
3	6,17g@221°	7,97g@92°
4	7,34g@319°	4,4g@175°
5	8,17g@259°	5,18g@176°
6	11,22g@268°	4,25g@218°

Tổng thể, việc sử dụng đồng thời các chỉ tiêu này không chỉ giúp đánh giá toàn diện mức độ chính xác và ổn định của quy trình, mà còn minh chứng cho tiềm năng ứng dụng thực tiễn của phương pháp gia công bán tự động trong sản xuất cánh quạt công nghiệp có yêu cầu cao về độ chính xác và tính đồng đều sản phẩm. Chi tiết cánh quạt này đã được đưa vào vận hành thực tế tại nhà máy của Công ty Thuốc lá Sài Gòn. Như vậy, nhóm tác giả đã đề xuất được và kiểm chứng một quy trình gia công mới giúp đạt được biên dạng có chỉ số tương đồng 96,7% với chi tiết nhập khẩu. Bên cạnh đó, chế độ gia công áp lực tối ưu lên chi tiết cũng đã được khảo sát nhằm phục vụ cho những cải tiến tiếp theo trong tương lai.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài NCKH cấp Trường trong khuôn khổ đề tài mã số T-CK-2023-02. Nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh đã hỗ trợ phương tiện và cơ sở vật chất cho đề tài này. ❖

Ngày nhận bài: **15/4/2025**

Ngày phản biện: **27/4/2025**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Zhou S., Yang K., Zhang W., Zhang K., Wang C., Jin W., “Optimization of Multi-Blade Centrifugal Fan Blade Design for Ventilation and Air-Conditioning System Based on Disturbance CST Function”. Applied Sciences, MDPI, Basel, Switzerland, 2021.
- [2]. Choi H. và Kim D., “Dynamic balancing of centrifugal impellers: Methods and practical challenges”. International Journal of Rotating Machinery, Vol. 26, No. 2, pp. 85-94, 2020.
- [3]. Nguyễn Đăng Tấn, Kiều Đức Thịnh, Trần Viết Linh, “Mô phỏng ảnh hưởng của góc đặt và góc xoắn cánh quạt gió cục bộ dùng trong mỏ than hầm lò”. Trường Đại học Thủy lợi, 2022.
- [4]. Nguyễn Văn Lại, “Xây dựng mô hình và mô phỏng tổn thất lưu lượng trong máy thủy lực một trục vít”. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, 2023.
- [5]. Nguyễn Hữu Lộc, “Phân tích và đánh giá cân bằng động rôto trên gối đỡ cứng và gối đỡ mềm”. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về Cơ khí lần thứ V, 2018.
- [6]. ASEAN Market Insight Group, “Demand trends in HVAC and air movement systems in Southeast Asia”. ASEAN Industrial Outlook, Singapore, 2023.
- [7]. Ali H., Asif M., Uddin S., “Performance evaluation of centrifugal fans used in industrial ventilation systems”. International Journal of Energy and Mechanical Engineering, Lahore: IJEME Press, 2020.
- [8]. McKinsey Global Institute, “Risk, resilience, and rebalancing in global supply chains”. McKinsey & Co., New York, 2021.
- [9]. World Bank Group, “Viet Nam 2045: Trading Up in a Changing World”. Washington D.C., 2022.
- [10]. Jin X., Zhang Y., và Li H., “Application of CNC machining in the manufacturing of high-performance centrifugal impellers”. Journal of Manufacturing Processes, Elsevier, Amsterdam, Vol. 64, pp. 201-210, 2021.
- [11]. Chen L., Li M., Yang X., “The feasibility of fast slotting thick CFRP laminate using fiber laser-CNC milling cooperative machining technique”. Optics & Laser Technology, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2022.
- [12]. Feldmann S., Herzig S.J.I., Kernschmidt K., Wolfenstetter T., Kammerl D., Qamar A., Lindemann U., Krcmar H., Paredis C.J.J., Vogel-Heuser B., “Towards Effective Management of Inconsistencies in Model-Based Engineering of Automated Production Systems”. IFAC-PapersOnLine, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2015.
- [13]. Lê Đình Tuấn, “Thiết bị cân bằng động chi tiết quay”. Sáng chế độc quyền VN 1-2014-03890, Cục Sở hữu trí tuệ Việt Nam, cấp ngày 25/05/2016.