

ỨNG DỤNG CÔNG CỤ NƠON MỜ THÍCH NGHI ANFIS TRONG DỰ BÁO ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI MÀI HỢP KIM TITAN TI-6AL-4V

ANFIS APPLICATION IN THE PREDICTION OF SURFACE ROUGHNESS WHEN GRINDING TITANIUM ALLOY TI-6AL-4V

Phạm Vũ Dũng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 06/04/2022, chấp nhận đăng ngày 04/05/2022

Tóm tắt: Hợp kim titan Ti-6Al-4V là hợp kim rất khó gia công. Trong nghiên cứu này công cụ nơon mờ (ANFIS) được ứng dụng để dự báo độ nhám bề mặt mài theo các biến vào là vận tốc, độ hạt của đá và kiểu bôi trơn. So sánh kết quả tính toán với thực nghiệm và với kết quả tính toán bằng phương pháp Taguchi cho thấy mô hình ANFIS dự báo khá chính xác độ nhám bề mặt, khẳng định độ tin cậy và tính ứng dụng của nó.

Từ khóa: Mài, ANFIS, logic mờ, độ nhám bề mặt, titan.

Abstract: Titanium Ti-6Al-4V alloy is extremely difficult to machine. In this investigation, ANFIS (Adaptive Neural Fuzzy Inference System) is used to predict the roughness of ground surface according to some factors such as wheel speed, wheel grain size and coolant type. Comparisons between model's output and experimental results, and between ANFIS's output and Taguchi's one show that ANFIS can predict surface roughness accurately, allowing to confirm the reliability of the model.

Keywords: Grinding, ANFIS, fuzzy logic, surface roughness, titan.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với nhiều tính chất cơ, lý, hóa quý báu như: nhẹ xấp xỉ một nửa thép nhưng độ bền cơ học gần gấp đôi, kể cả ở nhiệt độ cao; trơ trong nhiều môi trường hóa học như nước biển, axit, kiềm; thân thiện với cơ thể sống và không bị cơ thể đào thải... các hợp kim Ti được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp hàng không vũ trụ, hàng hải, thực phẩm, hóa học, y tế... Nhưng do tính dẻo, dai, dẫn nhiệt kém, nhiệt dung lớn... các hợp kim Ti thuộc nhóm vật liệu khó gia công. Hợp kim Ti6Al4V là hợp kim 2 pha (α - β), chưa thể thay thế được trong các chi tiết nhẹ, bền nhiệt của các động cơ turbine. Đến nay có nhiều công trình nghiên cứu về hợp kim này [8]. Việc xác định chế độ

cắt hợp lý khi gia công hợp kim Ti cho đến nay vẫn được đông đảo các nhà nghiên cứu quan tâm, vì chế độ cắt ảnh hưởng trực tiếp và mạnh nhất đến các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật gia công, là bài toán công nghệ tương đối thuận chiều. Xác định các điều kiện gia công ban đầu (đồ gá, dụng cụ, dung dịch trơn nguội...) mới là bài toán khó giải vì có nhiều lựa chọn, với các thông số và tiêu chí định tính, không rõ ràng. Trong những trường hợp "mờ" như vậy, người ta thường dựa vào kinh nghiệm. Phương pháp này có thể chấp nhận được với các vật liệu thông thường, như các hợp kim nền sắt, đồng, nhôm nhưng với hợp kim Ti thì khác, do các phản ứng phức tạp và khác thường của chúng. Nhu cầu tự động hóa

và giám sát quá trình công nghệ đòi hỏi phải dự báo và đánh giá định lượng đáp ứng của quá trình ngay cả khi các thông số đầu vào không đo, đếm được. Mục tiêu của nghiên cứu này là tạo ra công cụ dự báo độ nhám bề mặt chi tiết mài trước sự thay đổi của các điều kiện mài, như độ hạt - S, chất trơn nguội - Cool, vận tốc của đá - v_s . Để lập mô hình trợ giúp ra quyết định có thể dùng các công cụ toán giải tích, thống kê hay tính toán mềm [3], [4], [5], [7]. Vì các yếu tố đầu vào của bài toán có thể được mô tả dưới dạng số (v_s), dạng mã (S), dạng lời (Cool) nên không thể giải nó bằng các công cụ tính toán số. Trong những trường hợp đó, các phương pháp thống kê hay suy diễn bằng ngôn ngữ nói có ưu thế hơn. Theo hướng này, đã thử nghiệm một số phương pháp, như phương pháp Taguchi, mạng nơron nhân tạo, logic mờ, hay phối hợp giữa chúng [2], [3]. Một mô hình dự báo chất lượng bề mặt mài dùng công cụ nơron mờ (Adaptive Neural-Fuzzy Inference System-ANFIS) đã được xây dựng, thử nghiệm và sẽ được trình bày sau đây.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

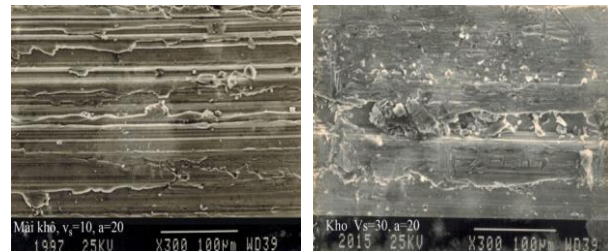
2.1. Sự hình thành bề mặt khi mài

Tuy cơ chế tạo phoi của các hạt mài được coi là tương tự như của các răng dao phay, nhưng do sự đặc biệt về vật liệu, kích thước, hình dạng và phân bố trên mặt đá của các hạt mài mà ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến hình học bề mặt mài rất khác biệt so với phay. Theo tính toán lý thuyết [6], độ cao nhấp nhô trung bình khi mài

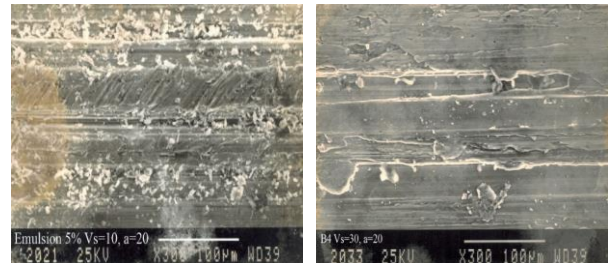
$$R_a = \frac{1}{9\sqrt{3}} \left(\frac{v_w L}{v_s d_s^{0.5}} \right)^2 \quad (1)$$

trong đó, v_w (m/s) - vận tốc của phôi, v_s (m/s) vận tốc của đá; L(mm) - khoảng cách trung bình giữa các hạt mài theo chu vi của đá;

d_s (mm) - đường kính của đá. Với giá trị thông dụng của các đại lượng trên thì giá trị tính (lý tưởng) của R_a nhỏ đến mức không thể tin nổi, chỉ vào khoảng 1/1000 giá trị tốt nhất có thể đạt được trên thực tế. Mặt khác, theo (1) thì chiều sâu cắt không ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt, nhưng trên thực tế lại có. Vậy yếu tố nào đã gây nên sự sai khác quá xa giữa độ nhám lý tưởng và thực tế? Có rất nhiều yếu tố không thể tính toán được bằng lý thuyết, ví dụ độ cao của "luống cày" (ba via) bị hạt mài rẽ sang 2 bên đường đi của nó, vật liệu phoi và hạt mài bị dính lên bề mặt phôi. Chính ảnh hưởng của các yếu tố "không tính được" này khiến độ nhám thực lớn gấp nhiều lần độ nhám lý tưởng và khó dự đoán trước.



(a) $v_s=10$ m/s, mài khô (b) $v_s=30$ m/s, mài khô



(c) $v_s=10$ m/s, tưới emulsion 5% (d) $v_s=30$ m/s, tưới dầu khoáng

Hình 1. Bề mặt mài với các điều kiện mài khác nhau

Hình 1 là ảnh chụp từ kính hiển vi điện tử (SEM) của bề mặt mài hợp kim Ti-6Al-4V với vận tốc đá và chế độ trơn nguội khác nhau. Tất cả các ảnh đều cho thấy các "luống cày" cùng với các mảnh phoi và hạt mài bị vùi lấp dưới đó. So sánh hình (a) với (b) cho thấy, khi mài khô với cùng chiều sâu cắt, tăng tốc độ cắt làm xấu chất lượng bề mặt. So sánh hình (a) với (c) cho thấy bề mặt mài khô có vẻ tốt

hơn bề mặt mài có tưới dung dịch nhũ tương (emulsion). Ngược lại, so sánh hình (b) với (d) lại cho thấy mài có tưới dầu khoáng cho bề mặt tốt hơn khi mài khô.

Trong hình vẽ trên minh họa cơ chế vô cùng phức tạp của việc hình thành bề mặt khi mài, đặc biệt với hợp kim Ti. Vì vậy, trong khi phân tích rất sâu ảnh hưởng của các yếu tố động, hình học của quá trình cắt đến độ nhám bề mặt, Malkin [6] phải thừa nhận rằng các tính toán lý thuyết chỉ có tác dụng định hướng điều khiển quá trình, không thể dựa vào đó để tính toán định lượng các thông số công nghệ. Các quan hệ thực nghiệm tuy không thể hiện rõ bản chất vật lý của quá trình nhưng lại cho phép đánh giá định lượng ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đầu vào đến các thông số đầu ra. Các quan hệ thực nghiệm cơ bản của mài được trình bày trong [2]. Với R_a có quan hệ:

$$R_a = R_1 h_{eq}^r \quad (2)$$

trong đó, h_{eq} - chiều dày phoi tương đương, R_1 và r là các hằng số.

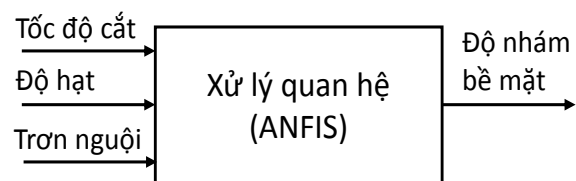
2.2. Xác định các yếu tố đầu vào của mô hình

Trong quá trình mài xảy ra tương tác giữa đá, phôi và môi trường. "Môi trường" trực tiếp bao quanh vùng mài là chất trơn nguội. Với phôi đã biết, cần chọn đá, chất trơn nguội và chế độ mài.

Về đá, một loạt các công trình nghiên cứu đã chỉ ra, trong số các loại đá mài thông thường cho hợp kim Ti thì đá với hạt mài SiC, độ cứng trung bình là phù hợp [8]. Độ hạt có ảnh hưởng 2 mặt đến độ nhám bề mặt. Đá mịn, một mặt giảm R_a ; mặt khác lại tăng dính bám khiến R_a tăng. Vì vậy, yếu tố về đá mài đáng quan tâm ở đây là độ hạt.

Về môi trường, có thể lựa chọn trong số 3 chất trơn nguội thông thường: không khí (mài khô), dung dịch nhũ tương (emulsion) và dầu khoáng. Như đã chỉ ra trên hình 1, mỗi loại chất trơn nguội có cơ chế tác dụng riêng và phù hợp với cấu trúc đá và chế độ mài cụ thể. Nói cách khác, chất trơn nguội cần được chọn cùng với độ hạt và chế độ mài.

Chọn chế độ mài thuộc lớp bài toán khác, được thực hiện sau khi bộ ba phôi - đá - môi trường đã được xác định. Tuy nhiên, hợp kim Ti đặc biệt nhạy cảm với tốc độ cắt (của đá). Mỗi loại đá mài và chất trơn nguội phù hợp với tốc độ cắt nhất định. Nói cách khác, tốc độ cắt chi phối việc chọn đá và chất trơn nguội, nên chọn đá và chất trơn nguội phải tính đến tốc độ cắt.



Hình 2. Mô hình dự báo độ nhám bề mặt mài

Với lập luận như trên nhằm đưa ra một phương pháp lựa chọn khách quan, dựa trên đánh giá định lượng, mô hình thực nghiệm được tiến hành với 3 yếu tố đầu vào nhạy cảm nhất: tốc độ cắt (v_s), độ hạt (S); chất trơn nguội (C); đầu ra là độ nhám bề mặt (R_a) nhỏ nhất. Công cụ xử lý được chọn là ANFIS (hình 2). Mỗi yếu tố có 3 mức.

Bảng 1. Quy hoạch thực nghiệm

	Yếu tố	v_s	S	C
Mức	1	22	48	D
	2	26	60	E
	3	30	80	O

2.3. Khái quát về ANFIS

ANFIS là viết tắt của *Adaptive Neural Fuzzy*

Inference System kết hợp giữa mạng nơron nhân tạo (ANN) và logic mờ (FL). Như đã biết, ANN là công cụ trợ giúp ra quyết định và điều khiển khá linh hoạt. Với cơ chế hoạt động đơn giản, dễ tạo lập cấu trúc, đặc biệt khả năng học, không "quan tâm" đến bản chất vật lý của quá trình, ANN được ứng dụng rộng rãi trong nhận dạng, phân nhóm đối tượng. ANN có nhược điểm là đòi hỏi lượng dữ liệu lớn và ổn định để huấn luyện. Mặt khác ANN làm việc kiểu hộp đen, dựa trên lý thuyết xác suất nên kết quả tuy khách quan nhưng không ổn định và khó dự đoán. Với chức năng tương tự như ANN, mô hình FL có cấu trúc rõ ràng, dựa trên một hệ suy diễn logic nên kết quả ổn định và có thể dự đoán được. Nhưng FL lại yêu cầu ở người dùng sự hiểu biết nhất định về quá trình và việc thiết lập hệ thống (kiểu suy luận, dạng và giá trị của các hàm thuộc,...) phụ thuộc chủ quan của người dùng. Phần xử lý chính của ANFIS là hệ suy luận mờ (Fuzzy Inference System - FIS) nhưng cấu trúc và giá trị các hàm thuộc của nó được xác định thông qua quá trình học, tối ưu hóa (thích nghi) của ANN. Với cơ chế đó, ANFIS khắc phục được cả tính thất thường của ANN lẫn tính chủ quan của FL. Do các ưu điểm trên, các hệ lai nơron mờ, trong đó có ANFIS, được ứng dụng khá rộng rãi [2], [7].

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Mục tiêu thực nghiệm là khảo sát ảnh hưởng của tốc độ cắt, độ hạt của đá và chất trơn nguội đến độ nhám bề mặt.

- Thiết bị gồm: máy mài phẳng ESG-4080

(Đài Loan - Trung Quốc), tốc độ trục chính 1450 v/ph, máy đo độ nhám SJ-201 (mitutoyo, Nhật).

- Chế độ cắt: Tốc độ của phôi 15m/ph, chiều sâu cắt 25 μm ; tốc độ cắt thay đổi 3 cấp (22, 26, 30) m/s nhờ thay đổi đường kính của đá (300, 350, 400) mm.

3.1. Quy hoạch thực nghiệm

Áp dụng cấu trúc mảng L27, cần 27 thí nghiệm. Toàn bộ dữ liệu thực nghiệm được tóm tắt trong bảng 2, gồm 3 nhóm. Nhóm *Dữ liệu vào* được tổ chức theo các yếu tố và các mức như bảng 1. Dữ liệu tốc độ cắt có dạng số thực (m/s), độ hạt dạng mã không thứ nguyên, trơn nguội dạng text: D (*mài khô*), E (*Emulsion*), O (*dầu khoáng*) được mã hóa không thứ nguyên, thành (1, 2, 3). Nhóm *Số liệu đo* chứa số liệu 3 lần đo R_a và giá trị trung bình $R_a(\text{tb})$. Nhóm *Kết quả tính* ghi kết quả và sai số tính toán.

Vì mô hình có những yếu tố đầu vào không phải dạng số nên không thể áp dụng các phương pháp giải tích và thống kê với dữ liệu thuần túy dạng số.

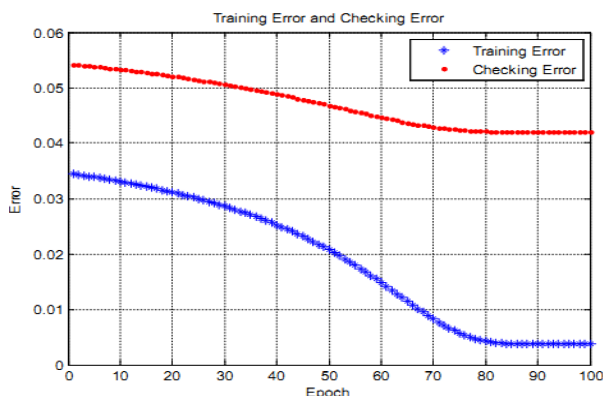
Có 2 lựa chọn cho trường hợp này, là phương pháp Taguchi và ứng dụng TTNT. Theo phân tích ưu nhược điểm của các công cụ hỗ trợ ra quyết định, ưu tiên công cụ phân tích động, hỗ trợ xử lý on-line, ở đây ANFIS được lựa chọn làm công cụ xử lý chính, còn phương pháp Taguchi được dùng để đối chứng. Thuật toán ANFIS được thực hiện nhờ m.file trong Matlab, còn thuật toán Taguchi được thực hiện trong Microsoft Excel.

Bảng 2. Dữ liệu và kết quả tính toán

Thí nghiệm	Dữ liệu vào			Số liệu đo				Kết quả tính			
	v_s	S	Cool	R_{a1}	R_{a2}	R_{a3}	$R_{a(tb)}$	$R_{a(Tag)}$	$SS_{(Tag)}$	$R_{a(Anf)}$	$SS_{(Anf)}$
1	22	48	1	1,94	1,93	1,99	1,953	1,921	1,631	1,949	0,222
	22	60	1	1,97	1,89	1,94	1,933	1,999	3,391	1,935	0,086
	22	80	1	2,03	1,95	2,04	2,007	2,057	2,528	2,008	0,066
	26	48	1	2,42	2,29	2,43	2,380	2,327	2,227	2,359	0,882
5	26	60	1	2,44	2,28	2,35	2,357	2,434	3,268	2,355	0,071
	26	80	1	2,48	2,35	2,48	2,437	2,500	2,612	2,435	0,068
	30	48	1	2,69	2,59	2,68	2,653	2,492	6,091	2,648	0,201
	30	60	1	2,67	2,53	2,65	2,617	2,595	0,814	2,625	0,318
9	30	80	1	2,75	2,61	2,78	2,713	2,671	1,560	2,712	0,049
	22	48	2	1,92	1,85	1,88	1,883	1,985	5,384	1,879	0,230
2	22	60	2	1,89	1,90	1,81	1,867	1,896	1,564	1,869	0,125
	22	80	2	1,96	1,86	1,97	1,930	1,887	2,228	1,931	0,052
	26	48	2	2,34	2,23	2,31	2,293	2,150	6,259	2,292	0,058
	26	60	2	2,31	2,20	2,33	2,280	2,240	1,761	2,279	0,044
6	26	80	2	2,37	2,27	2,39	2,343	2,305	1,631	2,341	0,100
7	30	48	2	2,15	2,28	2,24	2,223	2,058	7,441	2,225	0,075
	30	60	2	2,22	2,15	2,26	2,210	2,143	3,012	2,208	0,090
	30	80	2	2,33	2,21	2,32	2,287	2,206	3,519	2,288	0,058
	Opt(Tag)	22	48	3	1,73	1,72	1,73	1,711	0,907	1,729	0,135
Opt(Anf)	22	60	3	1,73	1,68	1,74	1,717	1,784	3,942	1,718	0,078
3	22	80	3	1,79	1,79	1,75	1,777	1,728	2,726	1,776	0,038
4	26	48	3	2,04	2,13	2,17	2,113	2,080	1,559	2,114	0,008
	26	60	3	2,12	2,01	2,11	2,080	2,170	4,327	2,080	0,019
	26	80	3	2,20	2,19	2,10	2,163	2,234	3,267	2,162	0,043
	30	48	3	2,37	2,36	2,36	2,363	2,224	5,896	2,364	0,028
8	30	60	3	2,39	2,28	2,41	2,360	2,321	1,653	2,361	0,042
	30	80	3	2,43	2,45	2,35	2,410	2,380	1,245	2,411	0,029
R_a nhỏ nhất (tối ưu) và sai số trung bình								1,71	3,05	1,72	0,12

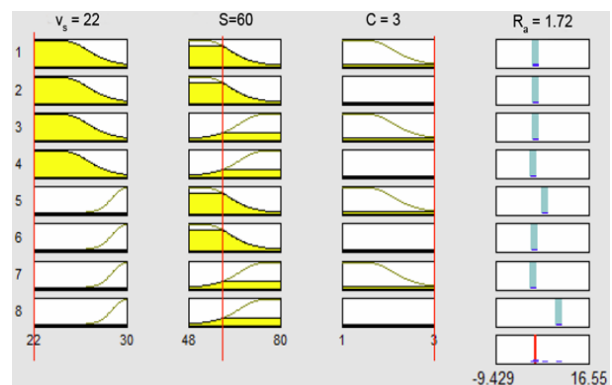
3.2. Phân tích số liệu nhờ ANFIS

Để huấn luyện ANFIS cần tạo ra 2 bộ dữ liệu. Bộ *Traning Data* gồm 3 cột đầu vào và cột $R_a(tb)$, để huấn luyện ANN, hiệu chỉnh các hàm thuộc nhằm giảm sai số. Bộ *Checking Data*, gồm 3 cột đầu vào và một trong các cột dữ liệu đo, ví dụ R_{a3} , dùng để kiểm tra sự hội tụ của quá trình. Trong quá trình huấn luyện, đồ thị sai số được vẽ như hình 3.



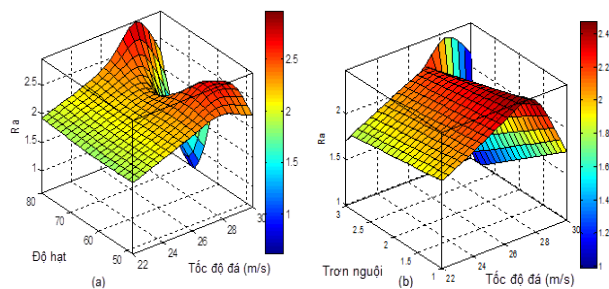
Hình 3. Quá trình huấn luyện Anfis

Ta nhận thấy, các sai số giảm sau mỗi chu kỳ huấn luyện (*Epoch*), nhưng đến cuối quá trình thì sai số kiểm tra (*Checking Error*) không giảm tiếp, thể hiện hệ thống bắt đầu đến trạng thái Overfit (bão hòa). Sau khi được huấn luyện, cấu trúc của hệ suy luận mờ đã được hình thành, ta có thể quan sát cấu trúc của FIS như hình 4, trong đó thể hiện các biến đầu vào, biến ra và các hàm thuộc.



Hình 4. Cửa sổ Rule Viewer

Trong *Surface Viewer*, có thể quan sát quan hệ giữa đầu ra R_a và các biến đầu vào như hình 4. Ta thấy, ở tốc độ thấp, độ hạt (*GrainSize*) và chất trơn nguội (*Coolant*) ảnh hưởng ít đến R_a nhưng khi tốc độ tăng thì ảnh hưởng mạnh hơn. Độ hạt trung bình (65-70) và dầu khoáng (số 3) cho R_a nhỏ. Tăng tốc độ cắt có xu hướng tăng R_a , đồng thời tăng mức độ ảnh hưởng của độ hạt và chất trơn nguội. Nhìn chung, độ hạt trung bình và dầu khoáng cho chất lượng bề mặt tốt. Cuối cùng, kết quả tính toán được ghi vào cột R_a (Anf) ở bảng 1. Cột SS(Anf) là sai số tương đối giữa số liệu đo R_a (tb) và R_a (Anf). Ta thấy sai số phạm phải rất nhỏ (giá trị trung bình là 0,12%). Ta cũng thấy R_a nhỏ nhất đạt được là $1,72 \mu\text{m}$, ứng với bộ tham số V1S2C3 ($v_s = 22$, $S = 60$, $C = O$).



Hình 5. Đồ thị 3D quan hệ giữa R_a và các biến vào

Những hiện tượng trên, chỉ thấy rõ ở hợp kim Ti và đôi khi xuất hiện ở hợp kim Ni (cũng dính bám nhưng độ dẫn nhiệt tốt hơn hợp kim Ti), nhưng hoàn toàn có thể giải thích được. Để có thêm góc nhìn về ưu, nhược điểm của các phương pháp, mô hình được phân tích nhờ phương pháp Taguchi, được ứng dụng khá phổ biến trong tối ưu hóa quá trình công nghệ. Để không làm lệch trọng tâm của bài báo, chỉ trình bày vắn tắt kết quả. Nếu cần thông tin chi tiết hơn, có thể tham khảo [4].

3.3. Xử lý số liệu nhờ phương pháp Taguchi

Để làm rõ về ưu, nhược điểm của các phương pháp, mô hình được phân tích nhờ phương

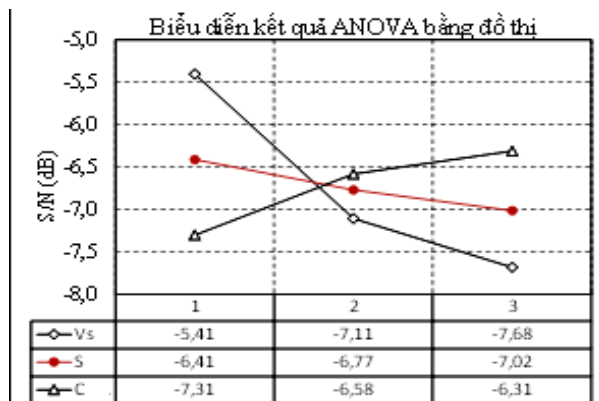
pháp Taguchi, khá thông dụng trong tối ưu hóa quá trình công nghệ. Ở đây chỉ trình bày vắn tắt kết quả. Với bài toán đang xét, phương pháp Taguchi chỉ cần 9 thí nghiệm dựa trên mảng trực giao L9 (bảng 3).

Bảng 3. Mảng trực giao L9 trích từ bảng 2

Thí nghiệm	Biến điều khiển			Đo độ nhám (R_a)	
	V_s	S	C	R_a (tb)	S/N
1	1	1	1	1,95	-5,80
2	1	2	2	1,87	-5,43
3	1	3	3	1,78	-4,99
4	2	1	3	2,11	-6,50
5	2	2	1	2,36	-7,44
6	2	3	2	2,34	-7,38
7	3	1	2	2,22	-6,93
8	3	2	3	2,36	-7,44
9	3	3	1	2,71	-8,67

Các thí nghiệm này được trích từ bảng 2 (các hàng tô màu vàng, có đánh số theo thứ tự theo quy hoạch thực nghiệm). Các biến vào (biến điều khiển) được mã hóa theo quy ước của OA. Ví dụ thí nghiệm thứ 2 (1, 2, 2) tương ứng với $v_s = 22$, $S = 60$, $C = E$. Taguchi chọn phương án tối ưu dựa trên phân tích phương sai (*ANalysis Of Variance-ANOVA*), chọn phương án tối ưu dựa trên tỷ số tín-tạp (*Signal-to-Noise Ratio*) S/N. Kết quả phân tích có thể được biểu diễn dưới dạng bảng hoặc đồ thị (hình 6). Phương án tối ưu là V1S1C3, nghĩa là $v_s = 22$, $S = 48$, $C = O$, cho $R_a(\min) = 1,71 \mu\text{m}$. Kết quả này có thể mở rộng cho toàn bộ 27 thí nghiệm như trong các cột R_a (Tag) và SS (tag) bảng 2 với sai số trung bình 3,05%.

	S/N trung bình theo các mức			PA thứ 2
	V_s	S	C	V2S2C2
1	-5,41	-6,41	-7,31	-7,00
2	-7,11	-6,77	-6,58	2,24
3	-7,68	-7,02	-6,31	
m	-6,73	-6,73	-6,73	PA TỰ
M	-5,41	-6,41	-6,31	V1S1C3
M - m	1,33	0,32	0,42	-4,67
% ảnh hưởng	64,15	15,50	20,35	1,71



Hình 6. Biểu diễn kết quả ANOVA

4. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kết quả tính toán bằng 2 phương pháp, được thể hiện trực quan trên hình 5, 6, có thể rút ra một số kết luận, có tác dụng định hướng cho nghiên cứu và ứng dụng công nghệ mài hợp kim Ti như sau:

- Khác với hầu hết các hợp kim "dễ gia công", hợp kim Ti rất nhạy cảm với tốc độ cắt. Để đạt chất lượng bề mặt cao, cần mài với tốc độ thấp. Điều này đã được khẳng định bởi nhiều công trình nghiên cứu như đã dẫn trong [1], [4], [5]. Ngoài ra, có thể giải thích ngắn gọn rằng, hợp kim Ti dẫn nhiệt rất kém nên nhiệt độ vùng cắt cao. Nhiệt độ cao "cộng hưởng" với tính dẻo, dai, dễ dính bám vốn có, khiến chất lượng bề mặt xấu đi khi tăng tốc độ cắt.
- Kích thước của hạt mài ảnh hưởng ít nhưng phức tạp đến độ nhám bề mặt. Nói chung, nên tránh đá rất mịn (dẫn đến tăng nhiệt độ, tăng dính bám) hoặc quá thô (tăng chiều cao ba via). Độ hạt trung bình là thích hợp, nhưng cụ thể là bao nhiêu còn tùy theo chế độ cắt và chế độ tron nguội cụ thể.
- Với hợp kim Ti, dung dịch tron nguội là chủ đề nhưng khá phức tạp. Dùng dung dịch để tải nhiệt, giảm nhiệt độ chi tiết không phải hướng ưu tiên, vì nếu vẫn để nguồn nhiệt độ cao thì làm nguội nhanh chỉ làm tăng ứng suất

dur, tăng nứt tế vi bề mặt gia công. Dùng dầu thích hợp (dầu khoáng độ nhớt thấp, dầu thực vật có khả năng thẩm thấu và tạo màng tốt) sẽ làm giảm ma sát, giảm nhiệt từ nguồn. Tuy nhiên, ở tốc độ rất cao, dầu lại dễ bị cháy nên mất tác dụng bôi trơn, tác dụng kém hơn Emulsion. Ngoài ra tính chất hóa học của dung dịch cũng cần quan tâm.

- So sánh kết quả của 2 phương pháp (bảng 2), cho thấy ANFIS phạm sai số nhỏ hơn (0,12%) so với Taguchi (3,05%). Phương án tối ưu của 2 phương pháp hơi lệch nhau. Taguchi tính ra $R_a(\min) = 1,71 \mu\text{m}$ khi mài với $v_s = 22 \text{ m/s}$, $S = 48$, dầu khoáng, sai số 1,08%. ANFIS cho kết quả $R_a(\min) = 1,72 \mu\text{m}$ khi mài với $v_s = 22 \text{ m/s}$, $S = 60$, dầu khoáng, sai số 0,00%. Với các ưu điểm đã phân tích ở trên, Kết hợp với sai số với suy diễn logic ở trên và đồ thị trên hình 5, tính đến khả năng tự động hóa trong tính toán, khả năng đáp ứng yêu cầu giám sát trực tuyến, thời gian thực (on-line, real-time) và hiển thị kết quả linh hoạt thì ưu thế nghiêng về ANFIS.

5. KẾT LUẬN

Bài báo giới thiệu mô hình nghiên cứu dựa trên ANFIS được xây dựng để dự báo định lượng độ nhám bề mặt mài hợp kim Ti-6Al-4V, với các yếu tố đầu vào định tính đồng thời cũng cho phép xác định điều kiện mài tối ưu theo tiêu chí độ nhám bề mặt nhỏ nhất. Để giải quyết vấn đề kinh tế, kỹ thuật của quá trình, cần giải các bài toán tối ưu chế độ cắt. Cả hai phương pháp, Taguchi và ANFIS đều cho kết quả tin cậy, nhưng kết quả của ANFIS chính xác hơn và được biểu diễn trực quan hơn, trong khi Taguchi đòi hỏi số thí nghiệm ít hơn. Người dùng sẽ quyết định chọn phương pháp nào thì tùy thuộc vào yêu cầu và điều kiện cụ thể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đào Văn Hiệp (1989). Optimalizace operace rovinného broušení slitiny VT6. Kandidátská disertační práce, VAAZ Brno.
- [2] Hiệp, Phạm Vũ Dũng. “Giám sát mòn của đá mài có ứng dụng mạng nơron nhân tạo”. Kỷ yếu hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về điều khiển (VCCA-2013).
- [3] Đào Văn Hiệp, Phan Hùng Dũng, Phạm Cường. “Nghiên cứu ứng dụng hệ suy luận nơron - mờ trong quy hoạch thực nghiệm”. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên, 120(08). (2014).
- [4] Fraley, S., Oom, M., Terrien, B., Zalewski, J. “Design of Experiments via Taguchi Methods: Orthogonal Arrays. Retrieved from” <https://controls.engin.umich.edu/wiki/index.php>. (2015).
- [5] Indira, G., Luis, M., Torres, T., Bernardo, G.O., Patricia, C.Z.. “Machining Optimization using Swarm Intelligent in Titanium (6Al 4V) Alloy”. Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 67, 355-544. (2013).
- [6] Malkin, S. “Grinding Technology Theory and Applications of Machining with Abravives. Ellis Horwood Limited. (1989).
- [7] Odior, A.O., Oyawale, F.A., Adoghe, A.U. “A Neuro-Fuzzy Linguistic Approach to Component Elements of a Grinding Wheel. Industrial Engineering Letters”. ISSN 2225-0581 (online), Vol.3, No.5. 1-9. (2013).
- [8] Xipeng, X., Yiqing, Y., Hui, H.. “Mechanisms of Abrasive Wear in the Grinding of Titanium (TC4) and Nickel (K417) Alloys”. Wear 255, 1421-1426. (2003).

Thông tin liên hệ: **Phạm Vũ Dũng**

Điện thoại: 0912703855 - Email: pvdung@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

