



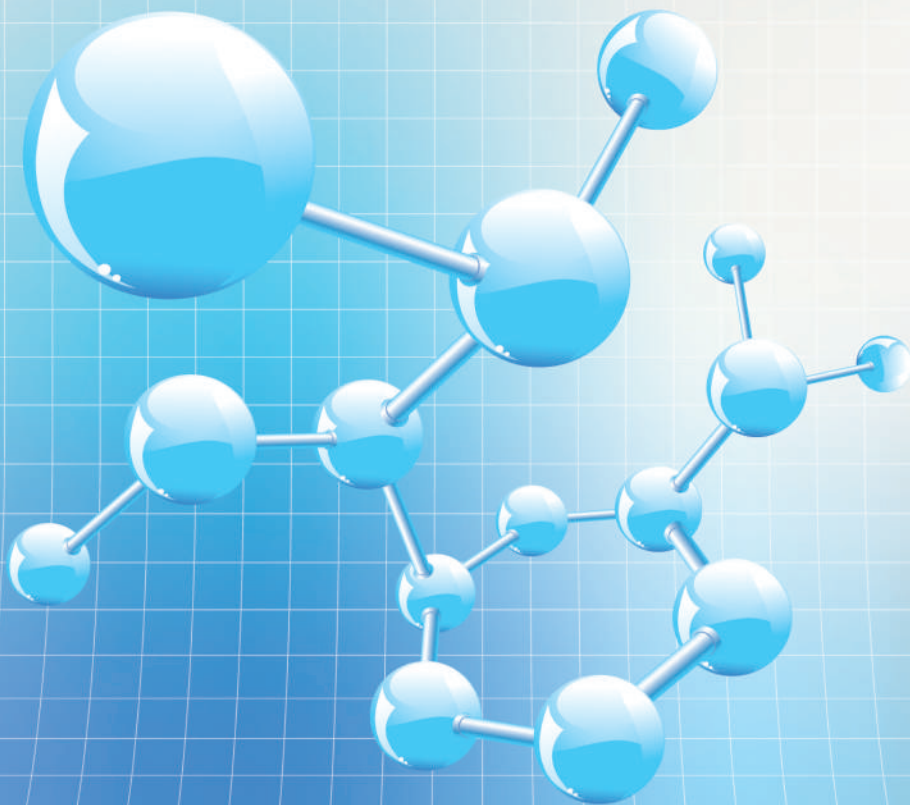
Tạp chí

NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

**P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X**



Số 1 (93)

2026

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đĩnh

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Trương Thị Thủy

Assoc.Prof.Dr. Nguyễn Thị Bất

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Phạm Hoàng Hải

Assoc.Prof.Dr. Đoàn Ngọc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyễn Ngọc Hà

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyễn Văn Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/>Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.

In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

Nghiên cứu sử dụng các bộ lọc thụ động cho lưới điện PV nhằm giảm sóng hài	5	Tạ Thị Mai
Phân tích các đặc tính chính của máy điện từ kháng hai khối làm việc ở chế độ động cơ - máy phát	12	Phạm Công Tảo Phạm Thị Hoan
Mô phỏng tán xạ sóng điện từ 2D sử dụng lớp hấp thụ hoàn hảo	19	Mạc Thị Nguyên
Ứng dụng học sâu (Deep Learning) trong bài toán dự báo công suất tiêu thụ của phụ tải điện công nghiệp	25	Phạm Văn Tài
Phương pháp điều khiển giám sát hệ thống sự kiện rời rạc trên PLC	32	Nguyễn Thị Quyên Vũ Bảo Tạo

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến hình dạng mối hàn khi hàn thép SS400 bằng công nghệ hàn MAG tự động	38	Nguyễn Hữu Chấn
Ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong dầu bôi trơn	44	Nguyễn Đình Cường
Ứng dụng lý thuyết phiếm hàm mật độ trong tính toán tối ưu cấu trúc và đặc tính cơ - lý của vật liệu 2D	51	Trần Thế Quang Phạm Thị Thanh Giang Dương Thị Loan Vũ Khắc Hưng Vũ Văn Tản
Ảnh hưởng của loại dầu ATF và điều kiện vận hành đến quá trình phát nhiệt của biến mô thủy lực GM 258 mm	57	Nguyễn Lương Căn Lê Đức Thắng Đỗ Tiến Quyết
Mô phỏng quá trình thấm - tôi Carbonitriding và sự hình thành ứng suất dư trên bánh răng thép C20	63	Mạc Văn Giang Đào Văn Kiên Ngô Hữu Mạnh

NGÀNH KINH TẾ

- Lợi thế so sánh và tăng trưởng kinh tế vùng của Việt Nam giai đoạn 2025-2030 70 Nguyễn Minh Tuấn
Phạm Thị Hồng Hoa
- Các nhân tố ảnh hưởng đến phát triển năng lực số của đội ngũ quản lý cấp trung tại các công ty, đơn vị thuộc Tập đoàn công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) 77 Trần Xuân Chiến
- Phát triển kỹ năng số của lực lượng lao động Việt Nam trong thời đại số: thực trạng và hàm ý chính sách 84 Vũ Thị Lý
Nguyễn Thị Quỳnh
- Tác động của chuyển đổi số tới hoạt động của các doanh nghiệp bán lẻ tại Việt Nam: Cơ hội và thách thức 90 Vũ Thị Thanh Thủy
- Hoàn thiện công tác kế toán thuế trong điều kiện các chính sách thuế thay đổi theo hướng chuyển đổi số tại một số doanh nghiệp nhỏ và vừa trên địa bàn phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng 96 Nguyễn Thị Quỳnh
Đinh Thị Kim Thiết
Vũ Thị Lý
Hoàng Thị Bích Ngọc
Đoàn Thị Thu Hằng

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

- Đổi mới phương pháp giảng dạy các môn khoa học Mác - Lênin trong thời đại số 102 Nguyễn Thị Nhan
- Quan điểm của chủ nghĩa Mác - Lênin về con người và sự vận dụng của quan điểm đó ở Việt Nam hiện nay 108 Trần Thị Hồng Nhung
Nguyễn Chí Dũng
Nguyễn Vinh Diện
Trần Thị Hiền
- Tư tưởng của Lênin về sử dụng các chuyên gia tư sản và sự vận dụng của Đảng ta trong xây dựng, phát triển đội ngũ trí thức Việt Nam hiện nay 113 Phạm Văn Dự
Vũ Thị Quyên
Nguyễn Thị Diễm
Dương Thị Thanh
- Vai trò của triết học đối với sự hình thành tư duy phản biện cho sinh viên đại học hiện nay 118 Trần Thị Hồng Nhung
Vũ Văn Đông
Nguyễn Vinh Diện
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về con người với việc phát huy vai trò của giảng viên đại học trước tác động của ChatGPT hiện nay 124 Trần Mai Ước
Nguyễn Thị Kim Nguyên

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

Research on the use of passive filters for PV grids to reduce harmonics	5	Ta Thi Mai
Analysis of the main characteristics of the two - package switched reluctance machine operating in motor - generator mode	12	Pham Cong Tao Pham Thi Hoan
Simulation of 2D electromagnetic wave scattering using perfectly matched layer	19	Mac Thi Nguyen
Application of deep learning in the problem of forecasting power consumption of industrial electricity loads	25	Pham Van Tai
A supervisory control method for discrete event system on PLC	32	Nguyen Thi Quyen Vu Bao Tao

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

Study on factors affecting weld bead geometry in automatic MAG welding of SS400 steel	38	Nguyen Huu Chan
Effect of sliding speed on the self-repairing behavior of TiC nanoparticle additives in lubricating oil	44	Nguyen Dinh Cuong
Application of density functional theory in structural optimization and mechanical-physical property calculations of 2D materials	51	Tran The Quang Pham Thi Thanh Giang Duong Thi Loan Vu Khắc Hưng Vu Van Tan
Effect of ATF type and operating conditions on heat generation in the GM 258 mm torque converter	57	Nguyen Luong Can Le Duc Thang Do Tien Quyet
Simulation of the carbonitriding quenching process and residual stress formation in C20 steel gears	63	Mac Van Giang Dao Van Kien Ngo Huu Manh

TITLE FOR ECONOMICS

- Vietnam's comparative advantages and regional economic growth during the period 2025-2030 70 Nguyen Minh Tuan
Pham Thi Hong Hoa
- Factors affecting the development of digital competence of middle management teams in companies and units under Vietnam national Coal - Mineral industries holding corporation limited (TKV) 77 Tran Xuan Chien
- Developing digital skills of Vietnam's workforce in the digital age: Current situation and policy implications 84 Vu Thi Ly
Nguyen Thi Quynh
- The impact of digital transformation on retail businesses in Vietnam: Opportunities and challenges 90 Vu Thi Thanh Thuy
- Improving tax accounting practices under the digital transformation of tax policies in small and medium-sized enterprises in Chu Van An ward, Hai Phong city 96 Nguyen Thi Quynh
Dinh Thi Kim Thiet
Vu Thi Ly
Hoang Thi Bich Ngoc
Doan Thi Thu Hang

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- Innovation in teaching methods Marxist-Leninist political theory in the digital age 102 Nguyen Thi Nhan
- The Marxist - Leninist view on humans and the application of that perspective in Vietnam today 108 Tran Thi Hong Nhung
Nguyen Chi Dung
Nguyen Vinh Dien
Tran Thi Hien
- V.I. Lenin's thoughts on utilizing bourgeois experts and the Party's application of them in training, nurturing and attracting the current intellectual team 113 Pham Van Du
Vu Thi Quyen
Nguyen Thi Diem
Duong Thi Thanh
- The role of philosophy in the formation of critical thinking for today's university students 118 Tran Thi Hong Nhung
Vu Van Dong
Nguyen Vinh Dien
- Ho Chi Minh's thought on people with promoting the role of university lecturers in the face of the impact of ChatGPT today 124 Tran Mai Uoc
Nguyen Thi Kim Nguyen

Ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong dầu bôi trơn

Effect of sliding speed on the self-repairing behavior of TiC nanoparticle additives in lubricating oil

Nguyễn Đình Cường

Trường Đại học Sao Đỏ

Tác giả liên hệ: nguyencuong1111980@gmail.com

Ngày nhận bài: 18/12/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 08/02/2026

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2026

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano titan cacbit (TiC) trong dầu bôi trơn. Nghiên cứu được thực hiện trên máy ma sát bốn bi MRS-10A với dầu bôi trơn nền CF-4 15W/40 có bổ sung 0,5% phụ gia nano TiC, trong dải tốc độ từ 400 đến 1.200 r/min. Khả năng tự hồi phục mòn được đánh giá thông qua đường kính vết mòn, kết hợp với phân tích hình thái bề mặt mòn bằng kính hiển vi đồng tiêu (LCSM) và xác định thành phần hóa học vùng mòn bằng phổ tán sắc năng lượng (EDX). Kết quả cho thấy dầu bôi trơn có bổ sung nano TiC cho mức độ mòn thấp hơn so với dầu bôi trơn nguyên chất trong toàn bộ dải tốc độ khảo sát. Đặc biệt, tốc độ làm việc có ảnh hưởng quyết định đến hiệu quả tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC; ở các chế độ tốc độ trung bình và cao, các hạt nano TiC dễ dàng tham gia vào vùng tiếp xúc ma sát và lắng đọng trên bề mặt, góp phần làm phẳng vi mô bề mặt và tự hồi phục một phần vùng bị mòn, trong khi ở tốc độ thấp hiệu quả này thể hiện kém rõ rệt hơn.

Từ khóa: Ma sát; mòn; tự hồi phục mòn; phụ gia nano; Titan cacbit (TiC).

Abstract

This paper investigates the effect of working speed on the self-repairing behavior of titanium carbide (TiC) nanoparticle additives in lubricating oil. The study was carried out using an MRS-10A four-ball tribometer with CF-4 15W/40 base lubricating oil containing 0.5 wt.% TiC nanoparticles, over a speed range from 400 to 1200 r/min. The self-repairing performance was evaluated based on wear scar diameter measurements, combined with worn surface morphology analysis using laser confocal scanning microscopy (LCSM) and surface chemical composition identification by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The results show that lubricating oil containing TiC nano-additives exhibits lower wear levels than the base oil throughout the investigated speed range. In particular, working speed plays a decisive role in governing the self-repairing effectiveness of TiC nanoparticle additives; at medium and high speeds, TiC nanoparticles tend to enter the contact zone and deposit on the frictional surface, promoting micro-scale surface smoothing and partial self-repair of the worn surface, whereas at low speed this effect is much less pronounced.

Keywords: Friction; wear; self-repairing behavior; nano-additives; Titanium carbide (TiC).

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện tượng ma sát và mòn là không thể tránh khỏi trong quá trình làm việc của các hệ thống và thiết bị cơ khí. Trong điều kiện vận hành khắc nghiệt, sự tiếp xúc và chuyển động tương đối giữa các bề mặt ma sát làm gia tăng mòn, dẫn đến giảm độ tin cậy, hiệu suất và tuổi thọ của các chi tiết và hệ thống thiết bị [1-2].

Vi vậy, việc kiểm soát ma sát và mòn thông qua bôi trơn hiệu quả là một trong những nhiệm vụ cốt lõi của ma sát học.

Trong những năm gần đây, phụ gia nano cho dầu bôi trơn đã được quan tâm nghiên cứu nhằm nâng cao đặc tính ma sát - mòn của hệ bôi trơn. Nhiều nghiên cứu cho thấy các hạt nano vô cơ có thể làm giảm ma sát và mòn rõ rệt khi được bổ sung với hàm lượng tối ưu. Tóth và các đồng nghiệp [3-6] đã nghiên cứu các phụ gia nano gốm cho dầu bôi trơn, bao gồm các hạt

Người phản biện: 1. TS. Vũ Hoa Kỳ
2. PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

ZrO₂, các hạt ZrO₂ dạng cầu ổn định pha bằng Y₂O₃ và các hạt gốm trên nền CuO; kết quả cho thấy tại hàm lượng tối ưu khoảng 0,4-0,5%, các phụ gia nano này giúp giảm ma sát, mòn so với dầu bôi trơn nguyên chất.

Về nguyên lý tự hồi phục, các hạt nano khi tham gia vào vùng tiếp xúc có thể giảm tiếp xúc kim loại-kim loại, đồng thời bám dính và lắng đọng trên bề mặt ma sát, góp phần làm phẳng vi mô và tự hồi phục một phần vùng bị mòn [7-8]. Tuy nhiên, hiệu quả này phụ thuộc vào tính chất vật liệu nano, hàm lượng sử dụng, trạng thái phân tán và điều kiện làm việc của cặp ma sát, trong đó tốc độ làm việc là một thông số chi phối quan trọng [9-10].

Titan cacbit (TiC) là vật liệu có độ cứng cao, ổn định hóa học và khả năng chống mòn tốt [11], phù hợp để làm phụ gia nano cho dầu bôi trơn, đặc biệt trong các điều kiện làm việc với tải trọng khác nhau [12]. Tuy nhiên, ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Trên cơ sở đó, bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC với hàm lượng cố định 0,5% trong dầu bôi trơn động cơ Diesel CF-4 15W/40 [13].

2. PHA CHẾ PHỤ GIA NANO VÀ THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

2.1. Pha chế phụ gia

Phụ gia nano được pha chế bằng cách bổ sung nano TiC có kích thước hạt trung bình 20 nm và chất phân tán polyetylen glycol (PEG-200) vào dầu bôi trơn nền CF-4 15W/40. Tỷ lệ khối lượng giữa nano TiC và PEG-200 được lựa chọn là 1:2 nhằm bảo đảm khả năng phân tán ổn định của các hạt nano trong dầu bôi trơn.

Quá trình pha chế được tiến hành bằng cách cho hỗn hợp phụ gia vào cốc thủy tinh chứa dầu bôi trơn, khuấy sơ bộ, sau đó xử lý siêu âm trong 30 phút. Dưới tác dụng của sóng siêu âm, các hạt nano được phân tán đồng đều trong dầu, tạo thành hệ huyền phù ổn định [14].

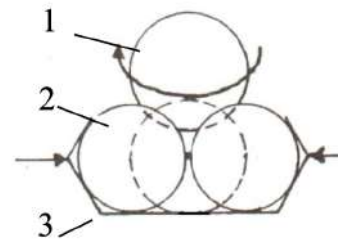
2.2. Thiết bị và nguyên lý thí nghiệm

Thí nghiệm ma sát được thực hiện trên máy ma sát bốn bi MRS-10A. Các viên bi sử dụng có đường kính 12,7 mm và độ cứng HRC 64–66.

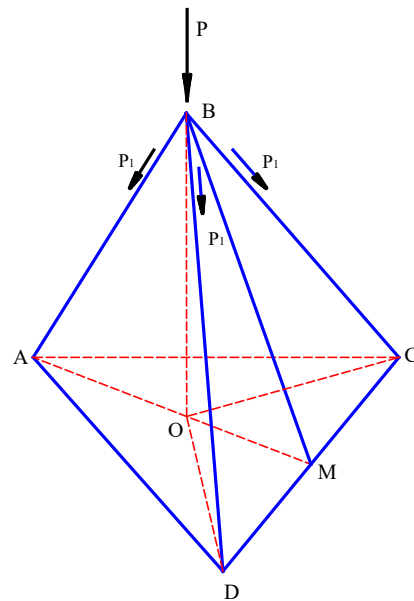
Nguyên lý làm việc của máy được trình bày trên Hình 1. Viên bi phía trên được kẹp chặt và quay quanh trục thẳng đứng, trong khi ba viên bi phía dưới được cố định. Khi viên bi phía trên quay, tiếp xúc ma sát xảy ra giữa viên bi quay và ba viên bi cố định, tạo thành các vết mòn có biên dạng tròn trên bề mặt các viên bi phía dưới.

Dưới tác dụng của lực ép P lên viên bi phía trên, lực này được phân bố đều lên ba viên bi phía dưới, mỗi viên bi chịu lực tương hỗ P₁. Thành phần lực tác dụng

tại vùng tiếp xúc được xác định theo quan hệ hình học của tiếp xúc bốn bi, với: $BM = BC \cdot \sin 60^\circ = 0,866P_1$. Quan hệ này là cơ sở để xác định và kiểm soát điều kiện tải trong quá trình thí nghiệm.



a. Kết cấu mỗi ghép 4 bi



b. Sơ đồ lực tác dụng 4 bi

Hình 1. Nguyên lý và cấu tạo của ma sát 4 viên bi
1. Viên bi đỉnh; 2. Ba viên bi phía dưới; 3. Mỗi ghép kẹp 3 viên bi.

2.3. Thông số thí nghiệm

Thí nghiệm với phụ gia nano trong dầu bôi trơn đã pha như mục 2.1. Thông số thí nghiệm theo Bảng 1.

Bảng 1. Thông số thí nghiệm với điều kiện tốc độ thay đổi

TT	Tốc độ (r/min)	Hàm lượng nano TiC (%)	Tải trọng (N)	Nhiệt độ (°C)	Thời gian (min)
1	400	0,5	392	75	60
2	600	0,5	392	75	60
3	800	0,5	392	75	60
4	1000	0,5	392	75	60
5	1200	0,5	392	75	60

Dùng máy đo biên dạng mòn của 3 viên bi cố định phía dưới, sau đó tính trung bình đường kính vết mòn để đánh giá độ mòn trong quá trình ma sát. Đồng thời sử

dụng kính hiển vi đồng tiêu (LCSM) và máy phổ tán sắc năng lượng (EDX) phân tích thành phần hóa học trên vết mòn của viên bi. Kết quả phân tích thành phần hóa học của bề mặt viên bi bị mòn sẽ đánh giá được khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC.

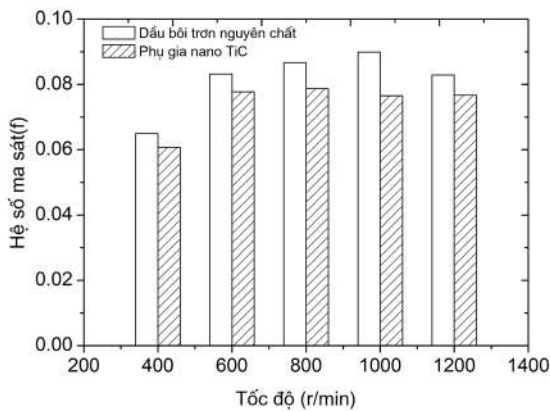
3. KẾT QUẢ

3.1. Ảnh hưởng của tốc độ đến hệ số ma sát và mòn

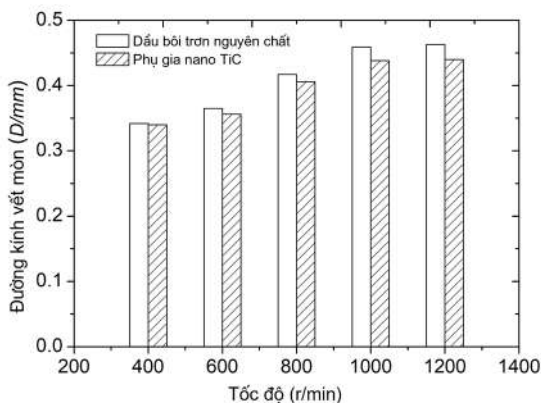
Thí nghiệm được tiến hành với dầu bôi trơn nguyên chất và dầu bôi trơn có bổ sung phụ gia nano TiC, được thể hiện trên Hình 2 và Hình 3. Kết quả cho thấy, trong toàn bộ dải tốc độ khảo sát, dầu bôi trơn chứa phụ gia nano TiC luôn có hệ số ma sát và mức độ mòn thấp hơn so với dầu bôi trơn nguyên chất.

Cụ thể, tại các tốc độ 400, 600, 800, 1000 và 1200 r/min, hệ số ma sát giảm tương ứng 6,61%; 6,57%; 9,24%; 14,85% và 7,48% so với dầu nguyên chất (Hình 2). Đồng thời, đường kính vết mòn trong các điều kiện này cũng giảm lần lượt 0,58%; 2,47%; 2,64%; 4,58% và 4,97% (Hình 3).

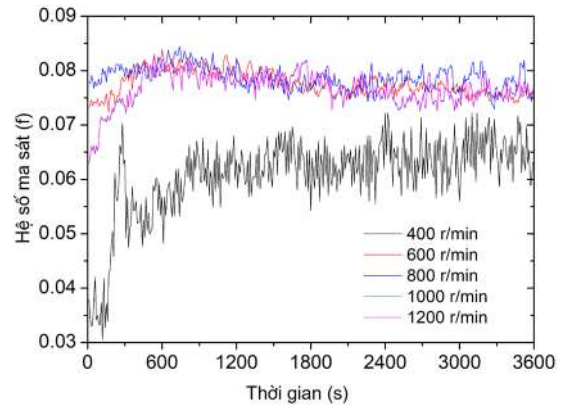
Các kết quả này cho thấy hiệu quả giảm ma sát và mòn của phụ gia nano TiC thể hiện ổn định trong toàn bộ dải tốc độ khảo sát.



Hình 2. Ảnh hưởng của tốc độ đến hệ số ma sát



Hình 3. Ảnh hưởng của tốc độ đến đường kính vết mòn



Hình 4. Ảnh hưởng của tốc độ đến hệ số ma sát theo thời gian đối với phụ gia nano TiC

Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số ma sát với thời gian tại các chế độ tốc độ khác nhau. Kết quả cho thấy, ở tất cả các tốc độ khảo sát, hệ số ma sát trong giai đoạn đầu tăng nhanh đến giá trị cực đại, sau đó giảm dần và tiến tới trạng thái ổn định, phản ánh quá trình chạy rà và ổn định tiếp xúc ma sát.

Trong dải tốc độ 600-1.200r/min (revolutions per minute), các đường cong hệ số ma sát theo thời gian có xu hướng biến thiên tương đối đồng đều. Ở giai đoạn đầu của thí nghiệm, hệ số ma sát tăng nhanh và đạt giá trị lớn nhất trong 615s (second), sau đó giảm dần và duy trì ổn định. Hiện tượng này cho thấy quá trình chạy rà diễn ra nhanh, và trạng thái tiếp xúc ma sát ổn định sớm được thiết lập ở các chế độ tốc độ trung bình và cao.

Có thể giải thích rằng, dưới tác dụng của tải trọng 392 N, trong giai đoạn ma sát ban đầu, các bề mặt tiếp xúc của viên bi có độ cứng cao, khiến quá trình phá hủy và thích nghi bề mặt diễn ra chậm. Do đó, hệ số ma sát đạt giá trị lớn nhất ở giai đoạn đầu, trước khi giảm xuống khi bề mặt dần được làm phẳng và trạng thái ma sát ổn định được hình thành. Ngược lại, tại tốc độ 400r/min, hệ số ma sát biến thiên dao động mạnh trong giai đoạn 0–330s, với biên độ và chu kỳ dao động lớn; ở giai đoạn sau, mặc dù dao động giảm nhưng vẫn còn kém ổn định so với các tốc độ cao. Điều này phản ánh trạng thái tiếp xúc bề mặt chưa ổn định và quá trình chạy rà kéo dài hơn ở tốc độ thấp.

Nhìn chung, sự biến thiên của hệ số ma sát theo thời gian tuân theo quy luật mòn đặc trưng của cặp chi tiết tiếp xúc. Trong các điều kiện tốc độ và nhiệt độ cao hơn, các hạt nano TiC dễ dàng tham gia vào vùng ma sát, hình thành các phần tử dạng “siêu bi”, góp phần giảm hệ số ma sát và ổn định quá trình ma sát [15].

Điều này cho thấy tốc độ làm việc không chỉ ảnh hưởng đến diễn biến ma sát theo thời gian mà còn chi phối điều kiện động học và nhiệt học tại vùng tiếp xúc, từ đó tác động trực tiếp đến khả năng tham gia và phát huy cơ chế tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC.

3.2. Tự phục hồi bề mặt bị mòn

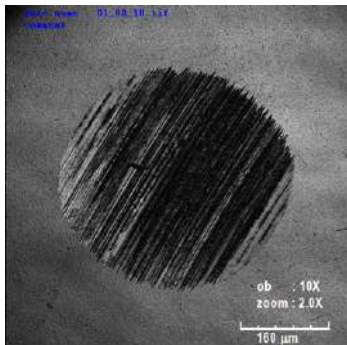
Để đánh giá và đối chiếu khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong dầu bôi trơn, bề mặt mòn của các viên bi tiêu chuẩn sau thí nghiệm được khảo sát bằng kính hiển vi đồng tiêu (LCSM), đồng thời thành phần hóa học tại vùng mòn được xác định bằng máy phổ tán sắc năng lượng (EDX). Phân tích được tiến hành trong hai điều kiện bôi trơn, gồm dầu bôi trơn nguyên chất và dầu bôi trơn có bổ sung 0,5% phụ gia nano TiC, qua đó làm rõ sự khác biệt về trạng thái bề mặt cũng như vai trò tham gia của phụ gia nano trong vùng tiếp xúc ma sát.

Các kết quả LCSM và EDX được đối chiếu trực tiếp tại hai chế độ tốc độ đặc trưng, 400 r/min và 1200 r/min, đại diện cho điều kiện tốc độ thấp và cao. Thông qua so sánh hình thái bề mặt mòn, độ nhám và sự hiện diện của nguyên tố Ti trên bề mặt, nghiên cứu tập trung làm rõ ảnh hưởng của tốc độ làm việc đến mức độ lắng đọng và hiệu quả tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong hệ bôi trơn.

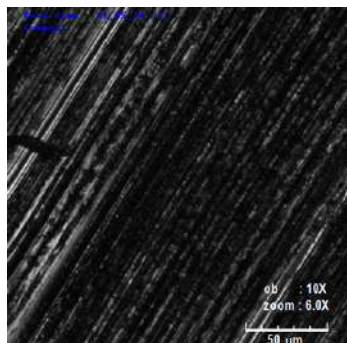
3.2.1. Vết mòn và tự hồi phục với tốc độ 400r/min

a. Dầu nguyên chất

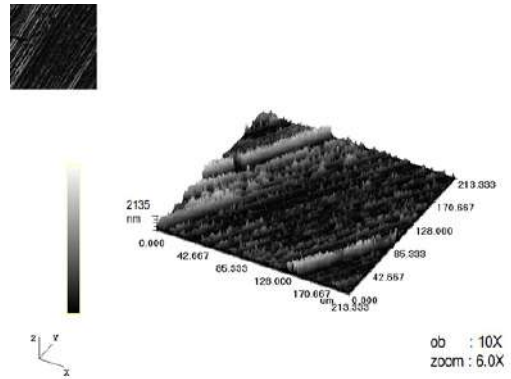
Khi thí nghiệm ở tốc độ 400r/min, kết quả quan sát trên Hình 5 cho thấy đối với dầu bôi trơn nguyên chất, bề mặt vết mòn xuất hiện nhiều nhấp nhô với biên độ lớn, các vết xước sâu và rõ nét, phản ánh trạng thái mòn khốc liệt của bề mặt ma sát. Các rãnh xước phân bố dày đặc và kéo dài trên hầu như toàn bộ diện tích vết mòn (Hình 5a, 5b), cho thấy cơ chế mòn chủ yếu là mòn “cào xước” kết hợp mòn dính trong điều kiện bôi trơn này.



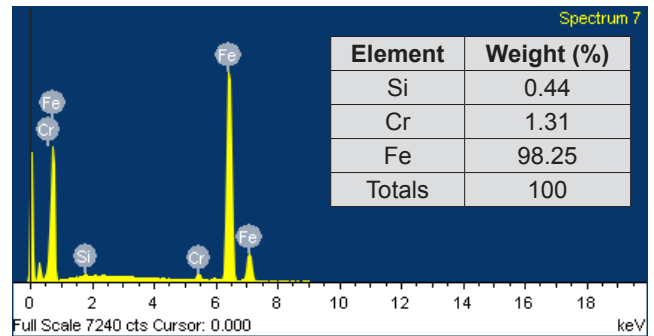
a. Toàn bộ đường kính vết mòn



b. Vết mòn tại trung tâm



c. Trung tâm vết mòn (Hình 3D)

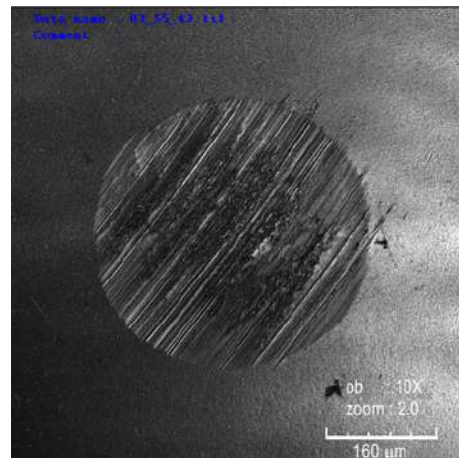


d. EDX phân tích thành phần hóa học

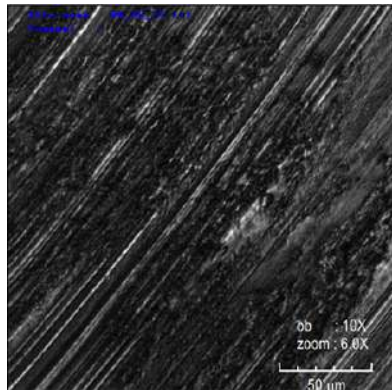
Hình 5. Dùng thiết bị LCSM và EDX quan sát và phân tích vết mòn khi dùng dầu bôi trơn nguyên chất với tốc độ 400r/min

Kết quả đo biên dạng bề mặt cho thấy độ nhám trung bình Ra đạt 2.135 nm (Hình 5c), phản ánh mức độ gồ ghề cao của bề mặt mòn sau thí nghiệm. Phân tích EDX bề mặt mòn (Hình 5d) cho thấy sự hiện diện chủ yếu của các nguyên tố Fe, Cr và Si, là các thành phần đặc trưng của vật liệu viên bi, đồng thời không phát hiện nguyên tố ngoại lai, chứng tỏ không hình thành lớp vật liệu bảo vệ trên bề mặt ma sát trong điều kiện sử dụng dầu bôi trơn nguyên chất.

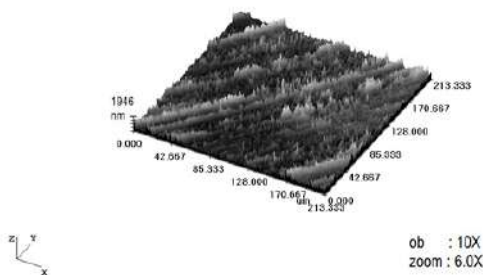
b. Chất phụ gia nano TiC



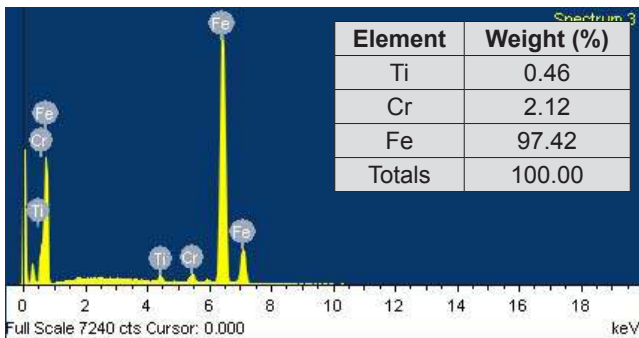
a. Toàn bộ đường kính vết mòn



b. Vết mòn tại trung tâm



c. Trung tâm vết mòn (hình 3D)



d. EDX phân tích thành phần hóa học

Hình 6. Dùng thiết bị LCSM và EDX quan sát và phân tích vết mòn khi dùng chất phụ gia nano TiC với tốc độ 400r/min

Ở tốc độ 400r/min, khi thí nghiệm với dầu bôi trơn có bổ sung 0,5% phụ gia nano TiC, hình thái bề mặt mòn quan sát bằng kính hiển vi đồng tiêu (LCSM) và kết quả phân tích EDX được trình bày trên Hình 6. So với trường hợp sử dụng dầu bôi trơn nguyên chất, bề mặt vết mòn khi có phụ gia nano TiC ít nhấp nhô hơn, tương đối bằng phẳng, với các vết xước nông và kém rõ nét, cho thấy mức độ mòn đã được cải thiện đáng kể. Các rãnh xước chủ yếu tập trung ở vùng trung tâm vết mòn (Hình 6a, 6b), phản ánh trạng thái tiếp xúc bề mặt ổn định hơn trong quá trình ma sát.

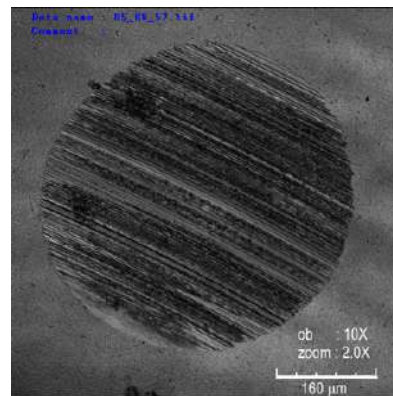
Kết quả đo biên dạng bề mặt cho thấy độ nhám trung bình Ra giảm xuống 1.946 nm (Hình 6c), thấp hơn so với dầu bôi trơn nguyên chất, chứng tỏ phụ gia nano TiC đã góp phần làm phẳng vi mô bề mặt mòn, hạn chế sự phát triển của các đỉnh nhấp nhô và rãnh xước sâu.

Phân tích EDX trên bề mặt vết mòn (Hình 6d) cho thấy sự hiện diện của các nguyên tố Fe, Cr và Ti, trong đó Ti có nguồn gốc từ phụ gia nano TiC. Hàm lượng Ti đo được đạt 0,46%, chứng tỏ các hạt nano TiC đã tham gia và lắng đọng tại vùng ma sát trong quá trình thí nghiệm.

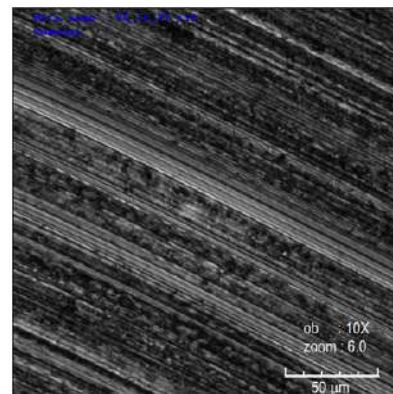
Sự xuất hiện của nguyên tố Ti cùng với sự cải thiện rõ rệt về hình thái và độ nhám bề mặt cho thấy phụ gia nano TiC đã khuếch tán và bổ sung một phần vùng mòn, qua đó làm giảm độ nhấp nhô và cải thiện trạng thái bề mặt ma sát. Đây là minh chứng thực nghiệm về khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong điều kiện tốc độ thấp.

3.2.2. Vết mòn và tự hồi phục với tốc độ 1200r/min

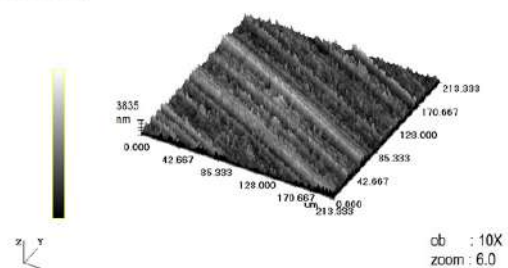
a. Dầu nguyên chất



a. Toàn bộ đường kính vết mòn

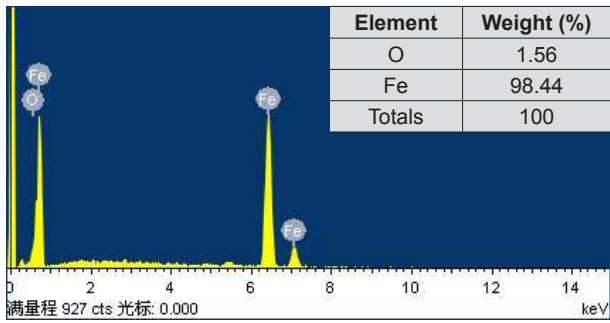


b. Vết mòn tại trung tâm



c. Trung tâm vết mòn (Hình 3D)

Fe	98.44
Totals	100



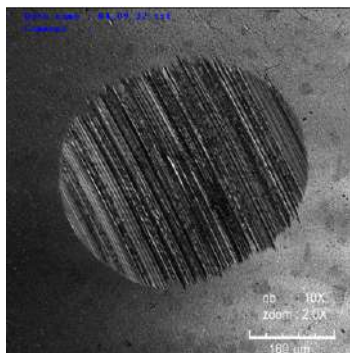
d. EDX phân tích thành phần hóa học

Hình 7. Dùng thiết bị LCSM và EDX quan sát và phân tích vết mòn khi dùng dầu bôi trơn nguyên chất với tốc độ 1200r/min

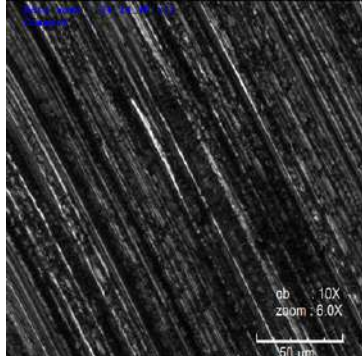
Đối với dầu bôi trơn nguyên chất ở tốc độ cao, kết quả đo biên dạng bề mặt cho thấy độ nhám trung bình Ra đạt 3.835 nm (Hình 7c), phản ánh độ gồ ghề rất lớn của bề mặt mòn và tương ứng với trạng thái mòn nặng, tiếp xúc ma sát kém ổn định. Phân tích EDX bề mặt mòn (Hình 7d) cho thấy sự hiện diện chủ yếu của các nguyên tố Fe và O.

b. Chất phụ gia nano TiC

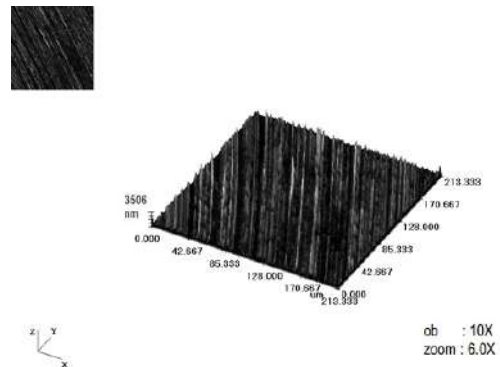
Trên Hình 8, tại tốc độ 1.200 r/min, có thể quan sát rõ toàn bộ vết mòn trên bề mặt viên bi (Hình 8a). Khi phóng đại tại vùng trung tâm vết mòn (Hình 8b), các vết cào xước xuất hiện với mật độ tương đối lớn và phân bố khá đồng đều, phản ánh điều kiện ma sát khắc nghiệt ở tốc độ cao. Tuy nhiên, so với trường hợp sử dụng dầu bôi trơn nguyên chất, bề mặt mòn khi dùng dầu bôi trơn có bổ sung phụ gia nano TiC cho thấy mức độ cào xước kém khốc liệt hơn, chứng tỏ tác dụng giảm mòn của phụ gia nano TiC trong điều kiện tốc độ cao.



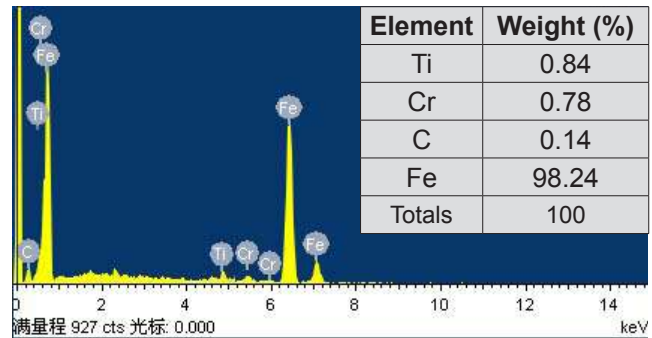
a. Toàn bộ đường kính vết mòn



b. Vết mòn tại trung tâm



c. Trung tâm vết mòn (hình 3D)



d. EDX phân tích thành phần hóa học

Hình 8. Dùng thiết bị LCSM và EDX quan sát và phân tích vết mòn khi dùng chất phụ gia nano TiC với tốc độ 1200r/min

Kết quả đo biên dạng bề mặt cho thấy độ nhám trung bình Ra đạt 3.506 nm (Hình 8c), nhỏ hơn so với dầu nguyên chất ở cùng tốc độ, phản ánh sự cải thiện trạng thái bề mặt ma sát khi có bổ sung phụ gia nano TiC.

Phân tích EDX trên bề mặt vết mòn cho thấy sự hiện diện của các nguyên tố Fe, Cr, Ti và C. Trong đó, Fe, Cr và C là các nguyên tố đặc trưng của vật liệu viên bi, còn Ti có nguồn gốc từ phụ gia nano TiC. Hàm lượng Ti đo được đạt 0,84%, chứng tỏ các hạt nano TiC đã khuếch tán và lắng đọng tại vùng ma sát. Sự hiện diện của Ti, kết hợp với sự giảm độ nhám bề mặt, cho thấy phụ gia nano TiC đã tham gia điều chỉnh tiếp xúc và làm phẳng vi mô bề mặt, qua đó làm giảm độ nhấp nhô của bề mặt ma sát trong điều kiện tốc độ cao.

So sánh hai chế độ tốc độ cho thấy, tại tốc độ cao, hàm lượng Ti lắng đọng trên bề mặt mòn tăng (0,84% so với 0,46%), chứng tỏ tốc độ cao tạo điều kiện thuận lợi hơn cho sự khuếch tán và phát huy cơ chế tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC.

4. KẾT LUẬN

Các thí nghiệm với 0,5% phụ gia nano TiC trong dải tốc độ 400-1.200r/min cho thấy hệ số ma sát giảm 6,57-14,85% và đường kính vết mòn giảm 0,58-4,97% so với dầu bôi trơn nguyên chất, khẳng định hiệu quả cải thiện đặc tính ma sát - mòn của phụ gia nano TiC.

Phân tích LCSM và EDX cho thấy sự lắng đọng của

nguyên tố Ti trên bề mặt mòn (0,46–0,84%), đi kèm với giảm độ nhám bề mặt, chứng tỏ phụ gia nano TiC đã khuếch tán vào vật liệu, qua đó tự hồi phục một phần bề mặt bị mòn. Đặc biệt, kết quả cho thấy tốc độ làm việc đóng vai trò then chốt chi phối hiệu quả của cơ chế tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong hệ bôi trơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Xiao Z, Su X J, Hou G L, et al (2012), *Synthesis and Tribological Properties of Serpentine Powders by Hydrothermal Method [J]*. Lubrication Engineering, 37(10), 45-49 (in Chinese).
- [2]. Qi X W, Lu L, Jia Z N, et al (2012), *Comparative tribological properties of magnesium hexasilicate and serpentine powder as lubricating oil additives under high temperature [J]*. Tribology International, 49, 53-57
- [3]. Tóth Á D, Szabó Á I, Leskó M Z, Rohde-Brandenburger J, and Kuti R (2022), *Tribological Properties of the Nanoscale Spherical Y2O3 Particles as Lubricant Additives in Automotive Application, Lubricants*, <https://doi.org/10.3390/lubricants10020028>
- [4]. Szabó Á I, Tóth Á D, Leskó M Z, and Hargitai H, (2022), *Investigation of the Applicability of Y2O3–ZrO2 Spherical Nanoparticles as Tribological Lubricant Additives, Lubricants*. <https://doi.org/10.3390/lubricants10070152>
- [5]. Tóth D, Szabó I, and Kuti R (2021), *Tribološka svojstva nanostrukturnih keramičkih čestica ZrO2 u automobilskim mazivima, FME Trans* <https://doi.org/10.5937/FME2101036T>
- [6]. Tóth D, Szabó I, Kuti R, and Rohde-Brandenburger J, (2021), *Tribološka istraživanja mogućnosti primene keramičkog materijala na bazi bakar oksida sa nanočesticama, FME Trans*. <https://doi.org/10.5937/fme2102335T>
- [7]. Mohan N, Sharma M, Singh R (2014), *Review of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives [C]*, International Conference of Advance Research and Innovation, 400-404.
- [8]. Yu H, Xu Y, Shi P, et al (2013), *Microstructure, mechanical properties and tribological behavior of tribofilms generated from natural serpentine mineral powders as lubricant additive [J]*. Wear, 297, 802-810.
- [9]. Li B, Xie F, Zhang MM (2014), *Study on tribological properties of Nano-MoS2 as additive in lubricating oils [J]*, Lubrication Engineering, 39 (9), 91-95 (in Chinese).
- [10]. Self-assembly and surface modification of sulfur nanoParticles in polyethylene glycol (PEG) and its antibacterial activities [D]. Master Degree Thesis, Jinan University, 2011 (in Chinese).
- [11]. Weijie Lu, Di Zhang, Xiaonong Zhang (2011), *Microstructural characterization of TiB in situ synthesized titanium matrix composites prepared by common cast technique*, Journal of Alloys and Compounds, 2011, Vols. 327: 240-247.
- [12]. Nguyễn Đình Cường (2021), *Ảnh hưởng tải trọng đến khả năng tự hồi phục mòn của phụ gia nano TiC trong dầu bôi trơn CF-415W/40*, Tạp chí NCKH, Trường Đại học Sao Đỏ, Số 2(73): trang 49-54.
- [13]. Nguyen Dinh - cuong, ZHOU Gui - yuan, XIA Xian - dong, LIU Qi - yue (2015), *Comparative study on friction reducing anti-wear and self-repairing properties of different Ti-base nanometer lubricating oil additives*, China surface Engineering. August, Vol.28, No.4, p: 47-53(ISSN 1007-9289)
- [14]. Nguyễn Đình Cường, Nguyễn Tiến Dũng, Vũ Văn Tấn (2016), *Nghiên cứu tối ưu hóa chất phụ gia nano TiO₂ trong dầu bôi trơn tự hồi phục mài mòn*, Tạp chí KHCN Hàng hải, số 46: trang 69-74.
- [15]. Thang Manh Sai, Cuong Dinh Nguyen, Dung Tien Nguyen (2025), *Research on the effects of TiO₂ nano-admixture in lubricating oil. Transactions of the Indian Institute of Metals*, 2025, Vol. 78: 53. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12666-024-03494-7>.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Dinh Cuong

Corresponding author: nguyencuong1111980@gmail.com

Sao Do University.

THẺ LỆ GỬI BÀI

TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về tòa soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03÷05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
 - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
 - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.
 - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>.

THÔNG TIN LIÊN HỆ:

Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, Số 1 (93) 2026



BỘ CÔNG THƯƠNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:

- **Số 1:** Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, quốc lộ 37, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** <http://saodo.edu.vn> **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 1 (93)
2026

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ

Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/> Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.