

## **Nghiên cứu độ bền của vật liệu polymer dựa trên Polytetrafluoroethylene trong các hệ thống ma sát của máy móc và cơ cấu**

*Durability Investigation of Polytetrafluoroethylene-Based Polymers in the Friction Units of Machinery and Mechanical Systems*

**Lưu Minh Hùng**

Khoa Xe máy, Trường Đại học Ngô Quyền

Email: luuhungcb@gmail.com

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu về tính chất cơ học và tính chất tribotechnical của các vật liệu composite polymer dựa trên polytetrafluoroethylene, đặc biệt là fluoro-plastic, cũng như các vấn đề nghiên cứu độ bền của vật liệu polymer được sử dụng trong các thiết bị ô tô và phương tiện khác. Đã xác định rằng vật liệu nghiên cứu sau khi được giữ lâu dài trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao, vẫn có khả năng duy trì các tính chất cơ học và tribotechnical của mình.

**Từ khóa:** *Độ tin cậy; Polytetrafluoroethylene; Phương tiện bánh xích và bánh lốp đa năng; Thiết bị làm kín; Vật liệu cấu trúc polyme*

**Abstract:** The article presents several research findings on the mechanical and tribotechnical properties of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene, particularly fluoroplastics, as well as issues related to the durability of polymer materials used in automotive devices and other vehicles. It has been determined that the studied materials, after prolonged exposure to high temperature and pressure conditions, are still capable of maintaining their mechanical and tribotechnical properties.

**Keywords:** *Polymetric structural materials; Polytetrafluoroethylene; Multi-purpose tracked and wheeled vehicles; Reliability; Sealing devices*

## 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, các nhà khoa học và kỹ sư đang không ngừng nỗ lực để giải quyết vấn đề nâng cao độ hiệu quả khai thác sử dụng của ô tô cũng như các phương tiện hiện đại khác, đặc biệt là các bộ phận và chi tiết của chúng.

Vấn đề nâng cao độ tin cậy có thể được giải quyết phần lớn nhờ việc áp dụng các vật liệu mới, hiện đại vào cấu trúc của các bộ phận và cụm chi tiết. Một trong những vật liệu như vậy chắc chắn là vật liệu composite polymer (CP), trong đó có cả CP dựa trên polytetrafluoroethylene (PTFE).

Vật liệu composite dựa trên polytetrafluoroethylene (PTFE) là vật liệu được chế tạo tổng hợp từ hai hay nhiều vật liệu khác nhau nhằm mục đích tạo ra một vật liệu mới có tính năng ưu việt hơn hẳn vật liệu ban đầu. Vật liệu composite được cấu tạo từ các thành phần cốt nhằm đảm bảo cho composite có được các đặc tính cơ học cần thiết và vật liệu nền đảm bảo cho các thành phần của composite liên kết, làm việc hài hoà với nhau. [1,6]

Một trong các ứng dụng có hiệu quả nhất đó là composite polyme dựa trên polytetrafluoroethylene (PTFE), đây là vật liệu có nhiều tính ưu việt và có

khả năng áp dụng rộng rãi, tính chất nổi bật là nhẹ, độ bền cao, chịu môi trường, dễ lắp đặt, có độ bền riêng và các đặc trưng đàn hồi cao, bền vững với môi trường ăn mòn hoá học, độ dẫn nhiệt, dẫn điện thấp. Khi chế tạo ở một nhiệt độ và áp suất nhất định để triển khai được các thủ pháp công nghệ, thuận lợi cho quá trình sản xuất.

Vật liệu composite được sử dụng để làm vỏ xe, khung xe, thùng xe. Các bộ phận này được làm để đảm bảo an toàn, tăng tính thẩm mỹ cho xe. Các bộ phận được làm từ composite có giá thành rẻ, dễ thay thế khi bị vỡ, hỏng hoặc đơn giản là người dùng muốn làm mới xe, có thể thay đổi vỏ xe... Cấu tạo của các loại phương tiện như xe máy, ô tô có động cơ rất nặng, nếu sử dụng vỏ xe, thùng xe từ các chất liệu khác sẽ gây khó khăn cho người sử dụng trong việc di chuyển. Việc sử dụng vật liệu composite còn giảm được khối lượng xe, giúp người dùng di chuyển được nhanh hơn. [2]

Ngoài ra, vật liệu composite polymer (CP) dựa trên PTFE cũng đã được ứng dụng nhiều trong các cụm chi tiết bịt kín của các phương tiện. Ngày nay, ứng dụng tính chất của vật liệu này, ngành công nghiệp ô tô đã sử

dụng rộng rãi, và đặc biệt là cả trong ngành công nghiệp Quốc phòng của các nước trên thế giới và của Việt Nam chúng ta. Cụ thể, trong lò xo khí nén của xe BMD-2, trong bộ giảm chấn thủy lực của các xe ô tô hiện đại, trong trục bánh xe đỡ của động cơ các loại xe tải trọng lớn như KamAZ, MOTOVOZ Ural, trong các kết nối tribological bịt kín của máy nén khí áp suất cao, và trong các thiết bị chống giật (POU) của các hệ thống pháo binh hiện đại. [1,2]

Kết quả thu được trong quá trình thử nghiệm các thiết bị bịt kín này đã rõ ràng chứng minh khả năng bịt kín khá cao của chúng khi đạt được thời gian sử dụng nhất định, điều này tổng thể chứng tỏ hiệu quả của các giải pháp thiết kế, cũng như mức độ cao của các tính chất tribotechnical và vật lý-cơ học của vật liệu composite polymer.

Các tính chất vật lý-cơ học của PTFE đã được nghiên cứu khá rộng rãi, tuy nhiên hiện nay vẫn chưa có đủ dữ liệu đầy đủ về khả năng của polymer trong việc duy trì các tính chất của nó trong thời gian dài (hơn 20 năm), điều này lại không cho phép dự đoán chính xác sự hoạt động không

trục trục của các bộ phận và chi tiết máy móc được thiết kế bằng CP. [3,4]

## 2. Mô hình nghiên cứu

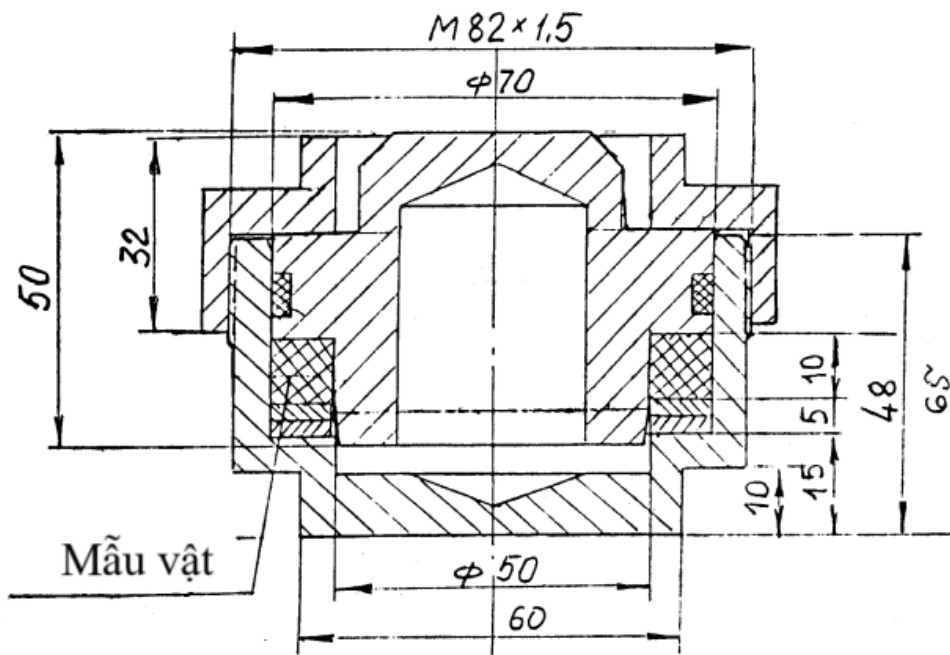
Trong quá trình thử nghiệm tính chất của vật liệu composite polymer (CP) dựa trên PTFE, mẫu vật được chọn để nghiên cứu là polytetrafluoroethylene được bổ sung sợi carbon, graphite tinh thể kín và disulfide molybdenum, có ký hiệu trong công nghiệp là 4B6SKG8M2 (hoặc fluoroplastic 4M2).

Vật liệu này được chế tạo bằng phương pháp ép nguội và sau đó là quá trình nung chảy, và sau đó đã được chịu tác động lâu dài của các điều kiện có ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng duy trì các tính chất cơ học và tribotechnical cao mà vật liệu này có khi chế tạo.

Nền tảng của nghiên cứu được dựa trên nguyên lý tương đương nhiệt-thời gian (TBA) nổi tiếng. Các mẫu composite dưới dạng phôi hình vòng tròn có đường kính cần thiết được đặt vào thiết bị đa năng, cho phép tạo ra các điều kiện cần thiết, có ảnh hưởng đáng kể đến các tính chất của vật liệu trong quá trình sử dụng. Các điều kiện này bao gồm: nhiệt độ (T), áp suất (P) và môi trường (chất lỏng, khí). [5,7,9]



Hình 1. Mẫu vật liệu 4B6SKG8M2



Hình 2. Cấu tạo thiết bị đa năng để thử nghiệm mẫu vật liệu composite polymer

**3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận**  
Áp suất được điều chỉnh bằng cách cố định nắp của thiết bị. Môi trường sử

dụng là hỗn hợp khí và dầu máy. Khi đặt mẫu vào lò, nhiệt độ cần thiết được thiết lập và điều chỉnh theo từng quá

trình và mốc thời gian. Dữ liệu nghiên cứu lại cụ thể, trình bày trong bảng 1, cứu được đo cụ thể sau từng khoảng thời gian nhất định và được máy tính

**Bảng 1.** Các đặc tính cơ học của mẫu vật liệu 4B6SKG8M2 sau khi lưu trữ trong mô hình trong 2208 giờ

Điều kiện lưu trữ			Giới hạn sức bền khi kéo dãn, $\sigma_p$ , MPa	Giá trị trung bình $\sigma_{ptb}$ , MPa	Độ giãn dài tương đối khi đứt $\epsilon_p$ , %	Giá trị trung bình $\epsilon_{ptb}$ , %	Mô-đun đàn hồi khi kéo $E_p$ , MPa	Giá trị trung bình $E_{ptb}$ , MPa
Môi trường	T <sup>o</sup> C	P, MPa						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiêu chuẩn			23,5	23,5	70,5	64,0	160	245,6
			23,0		70,5		300	
			24,0		50,0		276,9	
Lỏng	20	4,0	25,2	25,2	92,5	91,12	219,3	247,8
			25,2		90,0		276,3	
			26,2		97,5		172,2	
Khí	20	4,0	25,2	25,5	120,0	112,5	298	256,1
			25,2		120,0		298	
			25,0		80,0		230,8	
Lỏng	20	16,0	26,6	25,9	85,0	78,3	211,8	254,2
			26,2		70,0		320,5	
			25,7		112,5		439,0	

Nghiên cứu độ bền của vật liệu polymer dựa trên Polytetrafluoroethylene trong các hệ thống ma sát của máy móc và cơ cấu

Khí	20	16,0	24,9	25,5	62,5	85,8	341,5	361,8
			25,8		82,5		304,9	
			23,16		95,0		305,93	
Lỏng	100	4,0	23,26	23,44	112,5	105,8	373,8	334,9
			23,89		110,0		325,05	
			23,9		125,0		296,9	
Khí	100	4,0	23,6	23,9	110,0	115,8	281,7	283,6
			24,2		112,5		272,1	
			23,06		112,5		308	
Lỏng	100	16,0	22,96	23,2	112,5	102,5	251,2	280,6
			23,5		82,5		282,6	
			22,5		87,5		240	
Khí	100	16,0	22,4	22,4	137,5	108,3	233,3	246,7
			22,4		100,0		266,6	
			22,4		87,5		240,2	

Sau khi mẫu vật được giữ trong các điều kiện đã định trong thời gian cần thiết, chúng được rút ra và chuẩn bị để nghiên cứu các tính chất cơ học và tribotechnical của vật liệu cũng như cấu trúc bên trong của nó. Các mẫu được giữ trong các điều kiện ( $T=20^{\circ}\text{C}$  và  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $P=4\text{ MPa}$  và  $16\text{ MPa}$ , trong môi trường khí và lỏng) trong 3 và 6

tháng, sau đó các đặc tính cơ học của chúng được so sánh với mẫu chuẩn.

Các thử nghiệm được tiến hành trên máy thử kéo RMU-0.05. Tốc độ tải mẫu là 20 mm/phút. Tỷ lệ khi tính toán Er là 1:10. Mỗi mẫu được nghiên cứu ít nhất 3 lần, điều này cho phép coi các giá trị trung bình của các chỉ tiêu là gần với giá trị thực tế. Các nghiên cứu được thực hiện theo các chỉ tiêu: giới

hạn bền kéo  $\sigma_p$  (MPa), độ giãn dài tương đối khi kéo  $\epsilon_p$  (%) và mô-đun đàn hồi khi kéo  $E_p$  (MPa) theo tiêu chuẩn GOST 9850-81. [8]

Ngoài ra, sau khi thử nghiệm, các mẫu vật còn được tiến hành nghiên cứu cấu trúc vật liệu bằng phương pháp chụp X-quang. Phân tích các chỉ số tính chất cơ học cho thấy rằng giá trị giới hạn bền kéo đối với các mẫu có thời gian thử nghiệm 3 tháng chỉ thay đổi không quá 5%, còn đối với các mẫu có thời gian thử nghiệm 6 tháng, sự thay đổi không quá 12% so với mẫu chuẩn. Các yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến giới hạn bền của vật liệu thử nghiệm là áp suất cao 16 MPa và nhiệt độ 100°C, tuy nhiên, ngay cả trong những trường hợp này, sự giảm sút giới hạn bền không vượt quá các giá trị cho phép.

Giá trị độ giãn dài tương đối của các mẫu thử nghiệm đã thay đổi trong

phạm vi lên đến 80% và 57% tương ứng. Những thay đổi lớn nhất thể hiện rõ trong điều kiện môi trường khí và áp suất tương đối thấp 4 MPa.

Xét rằng mẫu thử nghiệm vật liệu composite polymer (CP) dựa trên PTFE được chế tạo với các tính chất đã được chỉ định, cho phép sử dụng nó trong các cụm chi tiết bịt kín của máy móc và cơ cấu, sự thay đổi chỉ số này chỉ ra rằng vật liệu trong điều kiện gần với điều kiện vận hành thực tế cho thấy sự cải thiện (cập nhật) các tính chất của nó. Sự thay đổi của giá trị mô-đun đàn hồi nằm trong phạm vi lên đến 47% và -24% tương ứng. Những thay đổi này không vượt quá các giá trị giới hạn, tuy nhiên, sự dao động lớn của giá trị chỉ số này cho thấy cần phải nghiên cứu chi tiết hơn và tiến hành các nghiên cứu tiếp theo về vật liệu nhằm xác định các quy luật và nguyên nhân dẫn đến các kết quả này.

**Bảng 2.** Các đặc tính cơ học của mẫu vật liệu  $\Phi 4YB6CK\Gamma 8M2$  sau khi lưu trữ trong mô hình trong 4416 giờ.

Điều kiện lưu trữ			Giới hạn sức bền khi kéo dẫn, $\sigma_p$ , MPa	Giá trị trung bình $\sigma_{p_{tb}}$ , MPa	Độ giãn dài tương đối khi đứt $\epsilon_p$ , %	Giá trị trung bình $\epsilon_{p_{tb}}$ , %	Mô-đun đàn hồi khi kéo $E_p$ , MPa	Giá trị trung bình $E_{p_{tb}}$ , MPa
Môi trường	T <sup>o</sup> C	P, MPa						
Tiêu chuẩn			25,8	26,8	80,0	87,5	268,8	318,9
			28,3		90,0		328,7	
			26,3		92,5		358,4	
Lỏng	20	4,0	23,9	24,2	90,0	108,3	222,7	254,0
			24,3		127,5		302,8	
			24,5		107,5		263,9	
Khí	20	4,0	24,0	24,2	100,0	111,5	289,0	253,2
			24,2		107,5		215,7	
			24,4		127,5		254,9	
Lỏng	20	16,0	23,3	24,3	100,0	95,0	333,3	314,2
			24,4		87,5		327,3	
			24,2		97,5		281,4	
Khí	20	16,0	23,5	23,6	80,0	111,3	308,4	322,9
			23,3		122,5		303,4	
			24,1		137,5		357,1	



Lông	100	4,0	23,7	23,9	105,0	102,5	322,1	310,97
			24,4		95,0		257,9	
			23,7		107,5		352,9	
Khí	100	4,0	23,3	24,3	110,0	132,2	322,0	269,9
			23,6		157,5		254,2	
			25,9		132,0		232,1	
Lông	100	16,0	24,5	24,0	102,5	122,5	286,3	290,2
			23,5		145,0		-	
			23,5		120,0		294,1	
Khí	100	16,0	24,2	23,8	102,5	120,5	307,7	240,7
			24,1		145,0		251,7	
			23,1		155,0		240,7	

Phân tích các hình chụp X-quang cho thấy rằng sự thay đổi của tất cả các đại lượng nghiên cứu mang tính ngẫu nhiên và nằm trong phạm vi sai số đo lường. Trong cấu trúc tinh thể của vật liệu, gần như không có sự thay đổi nào xảy ra.

#### 4. Kết luận

Như vậy, nhìn chung, rõ ràng là sau các thử nghiệm, vật liệu nghiên cứu đã duy trì được các tính chất cơ học chính và cấu trúc bên trong, điều này cho

phép dự đoán độ tin cậy và độ bền cao của nó.

Hiện nay, các nghiên cứu về tính chất tribotechnical của vật liệu composite polymer (CP) dựa trên PTFE này đã được thực hiện, điều này cho phép thực hiện đánh giá toàn diện và đưa ra các khuyến nghị thực tiễn về việc sử dụng nó trong tribotechnics nói chung và trong các cấu trúc xe ô tô nói riêng.

## Tài liệu tham khảo

- [1] A. Ya. Goldman, *Prediction of deformation and strength properties of polymeric and composite materials*, Leningrad: Khimiya, 1988, pp. 8–17..
- [2] Yu. K. Mashkov, O. A. Mamaev, and R. I. Kosarenko, "Polymer composite materials for sealing repair in multipurpose tracked and wheeled vehicles," in *Composite Materials in Industry: Proc. 25th Anniversary Int. Conf. and Exhibition*, Yalta: SIC "Science. Technology. Engineering", 2005, pp. 126–129.
- [3] V. P. Pivovarov, O. V. Kropotin, Yu. K. Mashkov, and R. I. Kosarenko, "Design experience of pneumatic cylinder seals for armored vehicles," in *Military Equipment, Armament and Dual-Use Technologies: Proc. III Int. Technological Congress*, Omsk: OmSU, 2005, vol. II, pp. 217–219.
- [4] V. Tupnytsky, Y. Kusyi, E. Dragašius, S. Baskutis, and R. Chatys, "Modeling of vibrational-centrifugal strengthening for functional surfaces of machine parts," in *Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023*, [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_21)
- [5] Y. Şahin and H. Şahin, "Tribological properties of polymeric composites: A review," *J. Metals, Materials and Minerals*, vol. 30, no. 2, pp. 1–21, 2020.
- [6] J. X. Chan, J. F. Wong, M. Petru, A. Hassan, U. Nirmal, N. Othman, and R. A. Ilyas, "Effect of nanofillers on tribological properties of polymer nanocomposites: A review on recent development," *Polymers*, vol. 13, no. 17, p. 2867, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/polym13172867>
- [7] C. B. Manjunath, C. V. Srinivasa, B. Basavaraju, G. B. Manjunatha, and R. B. Ashok, "A review on tribological behaviour of natural fiber reinforced polymer composites," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 925, p. 012011, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/925/1/012011>
- [8] O. A. Kurguzova, A. V. Shcherbinkin, and E. S. Chernova, *Materials Science: A Guide for Laboratory and Practical Work: Educational and Methodological Manual*, Omsk: OABII, 2021.

**Ngày nhận bài: 23/5/2025**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 04/7/2025**

**Ngày chấp nhận đăng: 07/7/2025**