



Ngày nhận bài: 02/4/2026; Ngày thẩm định: 29/4/2026; Ngày nhận đăng: 08/5/2026.

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA GRAPHITE TRƯỞNG NỞ LÊN TÍNH CHẤT CỦA SƠN CHỐNG CHÁY NHẪM BẢO VỆ CHO VẬT LIỆU GỖ

Trung tá, TS TRẦN VĂN HUỖNH

Khoa Khoa học cơ bản và Ngoại Ngữ, Trường Đại học PCCC

Thiếu tá, TS LÊ THỊ HỒNG HIỆP

Khoa Cơ sở ngành PCCC, Trường Đại học PCCC

*Tác giả liên hệ: Trần Văn Huỳnh (Email: tranhuynhsp@gmail.com)

Tóm tắt: Graphite trương nở (Expandable Graphite - EG) là một loại vật liệu phụ gia chống cháy vật lý thuộc hệ phồng nở, EG đóng vai trò then chốt trong việc tạo ra rào cản nhiệt bảo vệ cốt liệu. Trong nghiên cứu này chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng EG lên khả năng chống cháy của sơn chống cháy gốc nước. Khả năng chống cháy của sơn chống cháy gốc nước chứa phụ gia EG được thực hiện bằng phương pháp thử nghiệm theo tiêu chuẩn UL94-V. Kết quả cho thấy sơn chống cháy gốc nước khi thêm phụ gia graphite trương nở có thể cải thiện thời gian chống cháy. Khả năng chống cháy hiệu quả tốt nhất khi thêm phụ gia graphite trương nở vào là 1,5% theo khối lượng. Hình thái học bề mặt lớp than hoá của lớp phủ chống cháy chứa phụ gia graphite trương nở cũng được nghiên cứu phân tích. Kết quả nghiên cứu là tiền đề khảo sát chi tiết hơn về vai trò của graphite trương nở trong phụ gia cho sơn chống cháy.

Từ khoá: Graphite trương nở, sơn chống cháy, phụ gia, tiêu chuẩn UL94-V.

Abstract: Expandable graphite (EG) is a physical flame-retardant additive used in intumescent systems, where it plays a key role in forming a thermal barrier to protect the substrate. This study investigates the effect of EG content on the fire resistance of water-based fire-protective coatings. The fire resistance of the water-based coatings containing EG was evaluated using the UL94-V test method. The results show that the addition of expandable graphite can improve the fire-resistance performance of water-based fire-protective coatings. The most effective fire-resistance performance was achieved with the addition of 1.5 wt.% expandable graphite. The surface morphology of the char layer formed by the fire-protective coating containing expandable graphite was also examined. The findings provide a basis for further detailed investigation into the role of expandable graphite as an additive in fire-protective coatings.

Keywords: Expandable graphite, fire-resistant paints, additives, UL94-V standards.

1. Đặt vấn đề

Một lớp phủ chống cháy trương nở điển hình bao gồm ba thành phần chính, đó là: chất khử nước có tính acid (phosphoric acid và boric acid, cũng như este và muối của chúng), thành phần cacbon hóa đa chức (thường là glucose, erythritol và các dẫn xuất

của chúng) và chất tạo bọt (ví dụ: melamine, urê, chloroparaffin). Những chất này, cùng với chất kết dính và chất độn trương nở, tạo thành một hệ thống. Dưới tác dụng của ngọn lửa, nhờ tác dụng hiệp đồng của các thành phần riêng lẻ, không chỉ cung cấp cho vật liệu được bảo vệ khả năng chống lại ngọn lửa mà

còn cách nhiệt chống lại sự tăng nhiệt độ quá mức của vật liệu được bảo vệ. Hệ thống ba thành phần tương ứng được sử dụng phổ biến nhất là sự kết hợp của amoni polyphosphat, pentaerythritol và melamine (với lượng lên đến 25 – 30% trọng lượng) [1]. Ngoài việc làm chậm sự lan truyền của đám cháy, sự kết hợp này còn làm giảm lượng khí thải ra.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng các lớp bảo vệ có thể được điều chỉnh trên một phạm vi rộng các tính chất chức năng của chúng. Tất cả các lớp phủ chống cháy đều dựa trên nhựa hữu cơ, chúng mất đi các đặc tính của mình trong phạm vi nhiệt độ 300 – 500°C. Do đó, độ bền thấp của chúng trong điều kiện cháy là một hệ quả trực tiếp. Vì vậy các nghiên cứu hướng đến việc điều chỉnh quá trình cacbon hóa và duy trì độ cứng của cấu trúc. Mặt khác nhựa hữu cơ đủ đàn hồi để không hình thành các vết nứt nhỏ trong các lớp trong quá trình sử dụng bình thường. Các vật liệu gốm sau đây được sử dụng làm chất phụ trợ trong hệ thống lớp phủ chống cháy: bột silicat (đất sét, cát, silica) làm tăng độ cứng của lớp phủ tương ứng, sợi (khoáng, gốm, thủy tinh) làm tăng khả năng chịu nhiệt của lớp phủ lên đến 1500°C, cacbua silic (lên đến 5%) làm giảm nhiệt độ của chất nền được bảo vệ, cải thiện độ ổn định nhiệt và tính toàn vẹn của bột hình thành, cũng như silicat canxi và kali, oxit titan, hydroxit nhôm, borat kẽm hoặc oxit antimon [2,3]. Ngược lại, việc bổ sung các hạt nano đất sét, montmorillonit, nanosilica (với số lượng nhỏ, lên đến 5%), bằng cách tạo thành các lớp thiêu kết mỏng trong quá trình tiếp xúc với lửa, làm giảm sự khuếch tán oxy của chất nền và có thể ngăn ngừa nứt, cải thiện khả năng chống ăn mòn và chống nước [4]. Hiệu ứng tương tự có thể đạt được nhờ việc bổ sung các hạt nano oxit nhôm, magie aluminat và titan pyrophosphat. Việc bổ sung zirconium silicat (lên đến 5%) làm tăng hàm lượng carbon trong lớp phủ xốp sau khi cháy, làm cho nó cứng hơn.

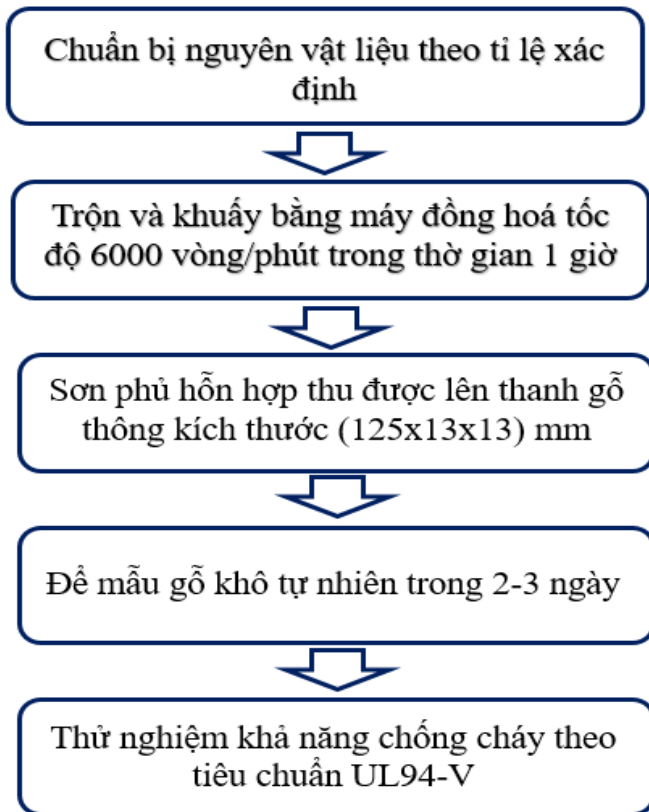
Graphite tương nở (Expandable Graphite - EG) là một loại vật liệu xen kẽ được tạo ra bằng cách xử lý graphite tự nhiên với các tác nhân oxide hóa và acid. Trong công nghệ sơn chống cháy, EG được phân loại là phụ gia chống cháy vật lý thuộc hệ phòng nổ,

EG đóng vai trò then chốt trong việc tạo ra rào cản nhiệt bảo vệ cốt liệu. Graphite tương nở sẽ tương ứng ngay lập tức thành sản phẩm graphite dạng giun khi nhiệt độ trên 200°C do các hợp chất nằm trong mạng lưới lớp bị phân hủy. Thể tích tối đa đạt được ở 1100°C và thể tích cuối cùng gấp 150 đến 300 lần thể tích ban đầu, tạo thành một lớp màng cách nhiệt tốt hơn. Phạm vi chịu nhiệt của graphite tương nở là -200 °C đến 3600°C trong điều kiện kỵ khí và nó không bị phân hủy, không bị lão hóa và ổn định về mặt hóa học trong điều kiện nhiệt độ cao, áp suất cao hoặc bức xạ. Ngoài ra, nó không độc hại và không chứa bất kỳ chất gây ung thư nào, không gây hại cho môi trường [5, 6]. Graphite tương nở là một chất phụ gia chống cháy tốt với nhiều cơ chế chống cháy khác nhau, có tác dụng chống cháy và giảm khói. Trong những năm gần đây, graphite tương nở với vai trò là chất phụ gia chống cháy tương nở, đang ngày càng được chú ý trong lĩnh vực vật liệu tổng hợp chống cháy, tuy nhiên trong lĩnh vực sơn chống cháy đặc biệt sơn chống cháy gốc nước bảo vệ gỗ tự nhiên chưa được nghiên cứu đầy đủ. Trong nghiên cứu này chúng tôi khảo sát sự ảnh hưởng hàm lượng phụ gia graphite tương nở sử dụng trong sơn chống cháy gốc nước. Sơn chống cháy gốc nước chứa phụ gia graphite tương nở được phủ lên gỗ tự nhiên, các mẫu gỗ tự nhiên này sau đó được thử nghiệm theo tiêu chuẩn UL94-V. Bên cạnh đó lớp than hoá của sơn chống cháy chứa phụ gia graphite tương nở sau khi cháy được phân tích bằng hình thái học SEM để làm rõ hiệu quả tương nở mà graphite tương nở gây ra.

2. Chế tạo vật liệu sơn chống cháy gốc nước sử dụng phụ gia graphite tương nở

Các hóa chất được sử dụng để tổng hợp sơn chống cháy gốc nước sử dụng phụ gia graphite tương nở cho gỗ tự nhiên bao gồm ba thành phần chính của sơn, graphite tương nở và các phụ gia khác. Ba thành phần chính của hệ sơn gốc nước gồm: Ammonium polyphosphate (APP), công thức hóa học: $[\text{NH}_4\text{PO}_3]_n$ với $n > 1000$; Pentaerythritol (PER), công thức phân tử: $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$, khối lượng mol 136,15 g/mol; Melamine (MEL), công thức phân tử $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$, khối lượng mol 126,12 g/mol. Các phụ gia khác gồm: chất trợ phân

tán Fatty Alcohol Ethoxylate 8 (FA8); chất tạo trắng TiO₂; chất phá bọt (EG-S926); chất chống lắng Bentonite; chất tạo đặc Carbonxyl methyl cellulose (CMC). Các hóa chất này được phân tán trong nước cùng với chất tạo màng Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVA) để tạo nên sơn chống cháy hệ nước cho gỗ tự nhiên.



Hình 1: Sơ đồ các bước chế tạo và thử nghiệm.

Các thiết bị được sử dụng để tổng hợp sơn chống cháy hệ nước sử dụng phụ gia graphite trương nở cho gỗ tự nhiên bao gồm: cốc thủy tinh các loại; cân điện tử; bình tia nước cắt; đĩa thủy tinh; máy đồng hóa mẫu tốc độ cao Model AD500S-H loại hiển thị tốc độ (máy khuấy); chổi sơn; giá đặt mẫu; các mẫu gỗ thông có kích thước (125x13x13) mm.

Quy trình chế tạo và thử nghiệm khả năng chống cháy của gỗ tự nhiên được phủ sơn chống cháy gốc nước chứa phụ gia graphite trương nở được tiến hành theo các bước như trong Hình 1, cụ thể gồm: (1) chuẩn bị nguyên vật liệu theo tỉ lệ xác định; (2) trộn và khuấy bằng máy đồng hóa mẫu tốc độ cao với tốc độ 6000 vòng/phút trong thời gian 1 giờ để tạo thành hỗn hợp đồng nhất; (3) sơn phủ hỗn hợp thu được lên thanh gỗ thông kích thước (125x13x13) mm; (4) để

mẫu gỗ khô tự nhiên trong 2-3 ngày tùy điều kiện thời tiết; (5) thử nghiệm khả năng **chống cháy** theo tiêu chuẩn UL94-V.

Bảng 1: Thành phần các nguyên vật liệu trong các mẫu sơn.

Mẫu	Tỉ lệ % về khối lượng					
	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
APP	18	18	18	18	18	18
PER	7	7	7	7	7	7
MEL	7	7	7	7	7	7
EVA	8	8	8	8	8	8
Nước	53	53	53	53	53	53
EG	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Khác	7	6,5	6	5,5	5	4,5

Khả năng bảo vệ cách nhiệt của sơn chống cháy được thử nghiệm theo phương pháp đo cháy đứng UL94-V, phương pháp thử nghiệm khả năng chống cháy của vật liệu khi thử nghiệm với ngọn lửa theo phương dọc, được áp dụng dựa theo tiêu chuẩn ASTM D 3801 như chỉ ra ở Hình 2. Mẫu thử được đặt thẳng đứng cố định một đầu bởi giá đỡ. Đặt ngọn lửa có chiều cao trung bình 20 mm dưới đầu mẫu trong 10 giây (mỗi lửa lần 1), sau đó đưa ngọn lửa ra ngoài, ghi nhận thời gian cháy lần một của mẫu cho đến khi tắt. Ngay lập tức đặt ngọn lửa vào đầu mẫu thực hiện thao tác lần hai (mỗi lửa lần 2), tiếp tục ghi nhận thời gian cháy của mẫu. Đo 5 mẫu, ghi lại thời gian cháy, thời gian phát sáng sau khi cháy, khả năng cháy tối đa, và sự nhỏ giọt của vật liệu nếu có.



Hình 2: Bố trí thí nghiệm theo tiêu chuẩn UL94-V.

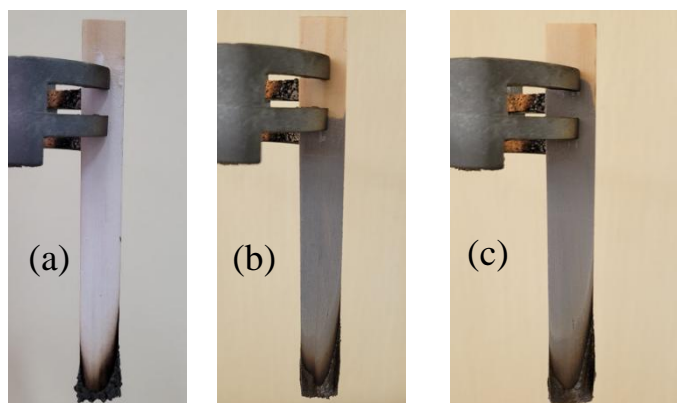
3. Kết quả thảo luận

Thời gian cháy của các mẫu gỗ thử nghiệm khả năng chống cháy theo phương pháp đó cháy đứng UL94-V được trình bày trong Bảng 2.

Mẫu	Tổng thời gian cháy (giây)	
	Sau mỗi lửa lần 1	Sau mỗi lửa lần 2
M ₀	6	42
M ₁	0	25
M ₂	0	15
M ₃	0	9
M ₄	0	8
M ₅	0	7

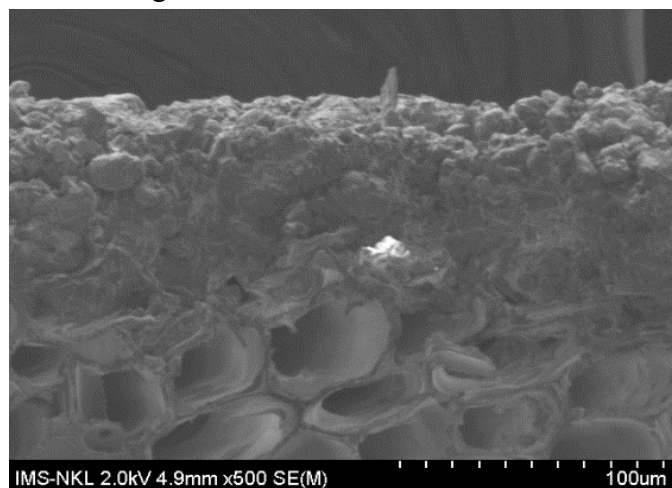
Từ kết quả tổng hợp ở Bảng 2 có thể thấy tất cả các mẫu gỗ được đốt thử nghiệm đều đạt theo tiêu chuẩn chống cháy UL94-V (tổng thời gian bắt cháy sau 2 lần đốt cháy nhỏ hơn 50 giây). Tuy nhiên với mẫu M₀ tổng thời gian cháy là lớn nhất (42 giây), với các mẫu được phủ màng chống cháy với hàm lượng phụ gia graphite tương nỡ tăng dần thì tổng thời gian bắt cháy giảm dần. Khi hàm lượng graphite tương nỡ trong sơn chống cháy là 0,5% tổng thời gian bắt cháy theo kết quả thử nghiệm là 25 giây, khi hàm lượng graphite tương nỡ trong sơn chống cháy tăng lên 1% thì tổng thời gian cháy theo kết quả thử nghiệm giảm nhanh xuống còn 15 giây. Tiếp tục tăng hàm lượng graphite tương nỡ trong sơn chống cháy lên 1,5%; 2% và 2,5% thì tổng thời gian cháy theo kết quả thử nghiệm tiếp tục giảm nhưng chậm và có xu hướng bão hoà. Như vậy có thể thấy khi hàm lượng graphite tương nỡ trong sơn chống cháy tăng đến 1,5% thì tác dụng chống cháy của sơn chống cháy gần như bão hoà. Mặc dù hàm lượng graphite tương nỡ càng cao thì khả năng chống cháy càng tốt, tuy nhiên hàm lượng graphite tăng dẫn đến ảnh hưởng đến độ kết dính, độ nhẵn bề mặt của lớp sơn chống cháy. Do đó hàm lượng graphite tương nỡ 1,5% trong sơn chống cháy là tỷ lệ tối ưu. Hình ảnh các mẫu gỗ sau khi đốt trong Hình 3 cho thấy phần bị ngọn lửa tác động, màng phủ đã trương phồng do đó ngăn cản nhiệt truyền đến bề mặt gỗ. Để hiểu rõ ảnh hưởng của graphite tương nỡ lên các lớp trương phồng, ảnh

SEM của phần trương phồng của các mẫu gỗ trước và sau khi đốt đã được thực hiện và trình bày trong Hình 4, 5, 6.

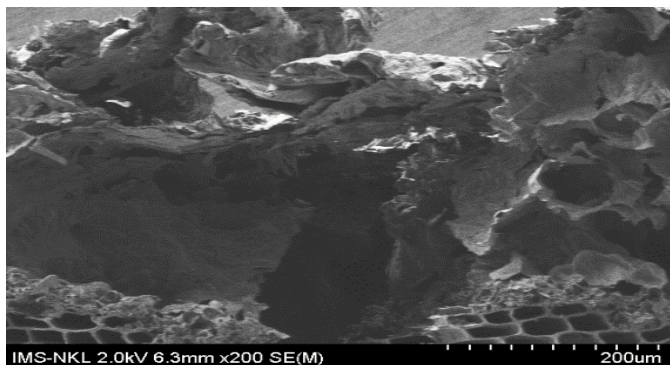


Hình 3: Kết quả thử nghiệm cháy theo tiêu chuẩn UL94-V, các hình a, b, c lần lượt là các mẫu M₀, M₁, M₃.

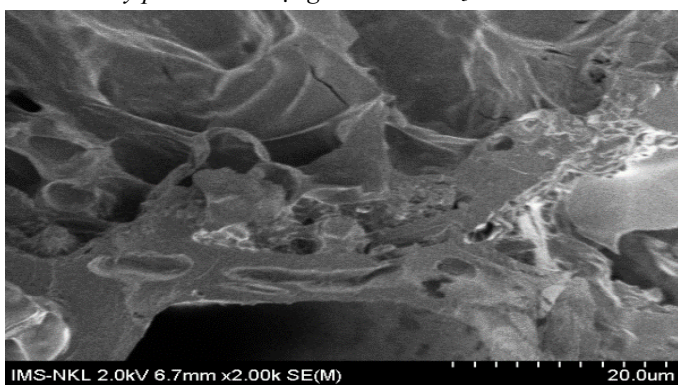
Hình 4 trình bày ảnh SEM của lớp phủ sơn chống cháy mẫu M₃ khi chưa đốt thử nghiệm. Có thể thấy lớp sơn tương đối mỏng và đồng đều (chưa đến 100 μm), lớp sơn phủ liên kết tốt với bề mặt gỗ. Hình 5 và hình 6 trình bày ảnh SEM của lớp than hoá của lớp sơn phủ sau khi đốt thử nghiệm. Có thể thấy khi chịu tác động nhiệt, lớp phủ bị trương phồng mạnh, do đó cản trở sự tác động nhiệt lên bề mặt gỗ, bề mặt gỗ không bị nhiệt tác động nhiệt. Do có phụ gia graphite tương nỡ, lớp than hoá của sơn chống cháy sau khi thử nghiệm đốt xuất hiện các khung carbon, các khung carbon này đóng vai trò như một khuôn mẫu ổn định nhiệt, đồng thời thúc đẩy sự hình thành nhiều lớp than chồng lên nhau. Hiệu ứng này tăng cường khả năng cản trở sự truyền nhiệt từ ngọn lửa đến bề mặt gỗ.



Hình 4: Ảnh SEM của lớp sơn chống cháy phủ lên bề mặt gỗ của mẫu M₃ trước khi đốt.



Hình 5: Ảnh SEM ở độ phóng đại 200 lần của lớp sơn chống cháy phủ lên bề mặt gỗ của mẫu M₃ sau khi đốt.



Hình 6: Ảnh SEM ở độ phóng đại 2000 lần của lớp sơn chống cháy phủ lên bề mặt gỗ của mẫu M₃ sau khi đốt.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã chế tạo thành công sơn chống cháy gốc nước sử dụng phụ gia graphite trương nở và thử nghiệm khả năng chống cháy trên gỗ tự nhiên theo tiêu chuẩn UL94-V. Các hàm lượng khác nhau của phụ gia graphite trương nở đã được khảo sát để làm rõ sự ảnh hưởng của graphite trương nở đối với khả năng chống cháy của sơn khi phủ lên gỗ tự nhiên (gỗ thông) theo tiêu chuẩn UL94-V. Phương pháp ảnh SEM đã được sử dụng để phân tích và giải thích các kết quả thử nghiệm. Kết quả cho thấy graphite trương nở có tác dụng tăng cường khả năng chống cháy của sơn chống cháy, với hàm lượng graphite từ 1,5 % trở lên tác dụng của nó đã đạt bão hòa. Kết quả nghiên cứu này cung cấp một giải pháp tăng cường khả năng chống cháy cho các kết cấu gỗ tự nhiên sử dụng vật liệu thân thiện môi trường. ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ravindra G. Puri, A. S. Khanna (2016), *Intumescent coatings: A review on recent progress*, Journal of Coatings Technology and Research, 14(1), 1-20.
2. Alongi, J.; Han, Z.; Bourbigot, S.: *Intumescence: Tradition versus novelty. A comprehensive review*. Prog. Polym. Sci. (2015).
3. Mohamad, W.F.; Ahmad, F.; Ullah, S.: *Effect of inorganic fillers on thermal performance and char morphology of intumescent fire retardant coating*. Asian J. Sci. Res. (2013).
4. Beheshti, A.; Heris, S.Z.: *Experimental investigation and characterization of an efficient nanopowder-based flameretardant coating for atmospheric-metallic substrates*. Powder Technol. (2015).
5. Tamer, Furkan & Çanakçı, Aykut & Cakir, Esma & Aras, uğur & Kalaycıoğlu, Hülya. *Development and Fire-Resistance Assessment of a Halogen-Free Recycled PS–Bitumen Sustainable Composite Enhanced by Expandable Graphite Intumescence*. Materials Research Bulletin. 200. 114114. (2026).
6. Arogundade, Adiat & Yussof, Puteri & Ahmad, Faiz & Muhammad, Ibrahim. *A Comparative Study of the Reinforcing Effect of Bauxite Residue in Pentaerythritol and Expandable Graphite Based Intumescent Systems*. Advanced Materials Research. 1184. 3-12. 10.4028/p-EX8eLa (2025).