

ĐỘ BỀN DAI TÁCH LỚP VÀ TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU POLYME COMPOZIT TRÊN CƠ SỞ NHỰA EPOXY/LACCOL, GIA CƯỜNG VẢI THỦY TINH, ĐÓNG RẮN BẰNG XYANETYLDIETYLENTRIAMIN

Đặng Hữu Trung^{1,*}, Trần Hải Ninh¹, Trần Vĩnh Diệu¹, Đoàn Thị Yến Oanh²

¹Trung tâm Nghiên cứu vật liệu polyme, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội,
Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

²Nhà Xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ
Việt Nam, Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

*Email: trungsms.02@gmail.com

Đến Tòa soạn: 31/10/2014; Chấp nhận đăng: 16/3/2015

TÓM TẮT

Nhựa epoxy là nhựa nhiệt rắn được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực công nghiệp nhưng có nhược điểm là giòn và độ bền dai thấp. Laccol (LC) là một phenol sơn tự nhiên có 2 nhóm hydroxyl ở vị trí octo và có mạch nhánh hydrocacbon dài không no ($C_{17}H_{31}$). Oligome epoxy-laccol (EP-LC) nhận được từ phản ứng tổng hợp giữa nhựa epoxy Epikote 828 với LC (tỉ lệ mol 1 : 1) ở nhiệt độ 140 ± 2 °C, 4 giờ, trong môi trường nitơ. Tổ hợp EP-LC nhận được trộn với nhựa epoxy được gọi là Epolac. Việc sử dụng Epolac, và ảnh hưởng của hàm lượng LC trong Epolac đến độ bền dai tách lớp (G_{IC}) và tính cơ học của polyme epoxy đã được khảo sát. Kết quả thử nghiệm cho thấy, vật liệu compozit trên cơ sở nhựa epoxy gia cường bằng sợi thủy tinh có độ bền va đập Izod tăng lên (41 %) từ 179,05 KJ/m² lên 258,04 KJ/m². Khi đưa 20 % laccol vào tổ hợp nhựa nền epoxy Epikote 828 làm cho quá trình tách lớp chậm hơn, đồng thời năng lượng tách lớp của vật liệu cũng lớn hơn. Cụ thể G_{IC} tăng từ 693,6 J/m² lên 735,1 J/m² (tăng 29,5 %), G_{IP} tăng từ 898,22 J/m² lên 1078,0 J/m² (tăng 20 %). Kết quả phân tích nhiệt cho thấy, khi đưa laccol vào nhựa epoxy đã làm giảm nhẹ nhiệt độ hóa thủy tinh. Quan sát ảnh SEM cũng cho thấy, khi có mặt của LC, các vết nứt xuất hiện nhiều hơn, thời gian tách lớp dài hơn và ổn định hơn so với mẫu không có LC. Như vậy, với sự có mặt của LC độ bền dai tách lớp và độ bền va đập của vật liệu polyme compozit đã được cải thiện đáng kể.

Từ khóa: nhựa epoxy, laccol, cyanethyl-diethylentriamin, độ bền dai phá hủy tách lớp, sợi thủy tinh.

1. MỞ ĐẦU

Compozit chất lượng cao được chế tạo trên cơ sở nhựa nhiệt rắn ngày càng được ứng dụng rộng rãi, tuy nhiên ở loại vật liệu này vẫn tồn tại những khuyết điểm như khả năng chống lại lực va đập và tách lớp trong vật liệu thấp. Hiện nay, để cải thiện khả năng chống phá hủy tách lớp của nhựa epoxy có rất nhiều phương án được thực hiện bằng cách đưa các phần tử kích thước

nano như nanoclay, ống cacbon nano, vi hạt cao su, đưa pha tăng dai phân tán vào nền epoxy... [1 - 5]. Độ bền dai tách lớp (G_{IC}) được các nhà khoa học xác định để đánh giá khả năng chống lại sự phát triển vết nứt tách lớp của vật liệu compozit gia cường bằng sợi liên tục.

Romhány G. và cộng sự [6] đã dùng ống cacbon nano với hàm lượng 0,3 % phần khối lượng (PKL) phân tán vào nền epoxy, kết quả đã làm tăng giá trị G_{IC} lên 33 % so với mẫu không có ống cacbon nano. Nguyen Tien Phong và cộng sự [7] đã dùng nano-polyvinyl ancol (PVA) với kích thước 40 - 80 nm phân tán vào nền epoxy ở hàm lượng 0,1 % PKL đã cải thiện được G_{IC} tăng 65 % và G_{IP} tăng 73 % so với mẫu không có PVA.

Trong công trình này đã dùng laccol, một phenol sơn tự nhiên có ở Việt Nam. Laccol có nhân catechol và mạch nhánh aliphatic dài không no [8], đưa vào vật liệu epoxy nhằm cải thiện độ bền dai phá hủy của polyme epoxy.

Ở công trình [9] chúng tôi đã khảo sát hàm lượng laccol tới tính chất cơ lý của màng phủ và độ bền dai phá hủy K_{IC} cho thấy ở hàm lượng laccol 20 % cho kết quả tốt nhất. Vì vậy ở nghiên cứu này sử dụng 20 % laccol đưa vào vật liệu epoxy Epikote 828, gia cường bằng vải thủy tinh để xác định các tính chất cơ học và đặc biệt là độ bền dai phá hủy tách lớp (G_{IC}) của vật liệu. Độ bền dai phá hủy tách lớp (G_{IC}) của vật liệu compozit được thực hiện trên mẫu dầm công-xôn kép (Double Cantilever Beam-DCB) sử dụng rất phổ biến hiện nay để xác định năng lượng phá hủy tách lớp của vật liệu [10].

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất và vật liệu

Xyanetyldietyltri-amin (XEDETA) tổng hợp theo tài liệu [11]. XEDETA có hàm lượng MONOXEDETA 90,21 % và DIXEDETA 9,79 %.

Nhựa epoxy Epikote 828 (Shell Chemicals) có hàm lượng nhóm epoxy 22,6 %.

Vải thủy tinh C 350 g/m² (Trung Quốc).

Laccol trích li từ sơn tự nhiên Việt Nam (Phú Thọ).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp tính toán lượng chất đóng rắn amin

Lượng chất đóng rắn amin X (g) cho 100 g nhựa epoxy được tính theo công thức

$$X = \frac{E \cdot M}{43 \cdot n} \cdot k \quad (1)$$

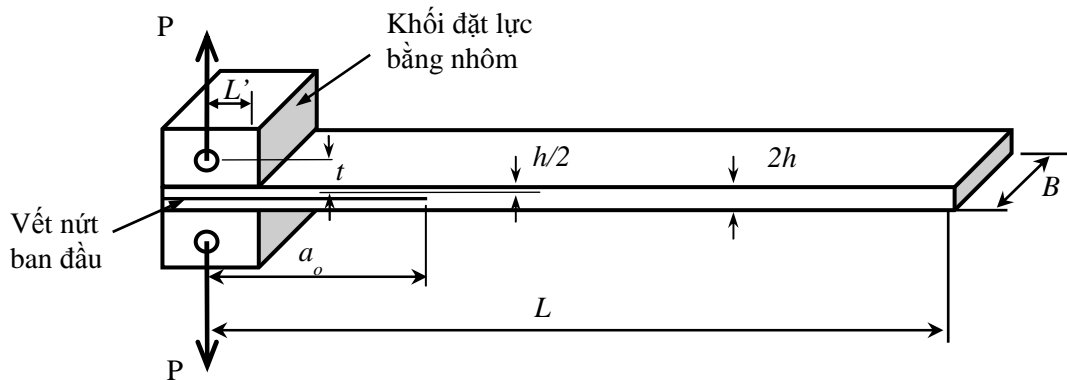
trong đó: E là hàm lượng nhóm epoxy; M là khối lượng phân tử của chất đóng rắn amin; n là số nguyên tử hydro hoạt động trong chất đóng rắn amin; 43 là khối lượng nhóm epoxy; k là hệ số điều chỉnh.

Đối với XEDETA, M và n được tính toán theo nguyên tắc cộng tỉ phân dựa vào kết quả phân tích sắc kí khí, biết được hàm lượng MONO và DIXEDETA.

2.2.2. Chế tạo mẫu dầm công-xôn kép (DCB)

Vật liệu compozit dạng tấm gồm 8 lớp vải được chế tạo theo phương pháp lăn ép bằng tay. Nhựa nền epoxy được đóng rắn ở nhiệt độ phòng bằng chất đóng rắn XEDETA với hệ số hàm lượng chất đóng rắn $k = 1,2$. Tỷ lệ nhựa/sợi = 40/60. Để tạo vết nứt ban đầu, một tấm teflon dày khoảng 10 μm được đặt vào sau lớp vải thứ 4 sao cho chiều dài vết nứt ban đầu $a_0 = 50$ mm. Sau 3 tuần tấm compozit được đem đi cắt và xác định các tính chất cơ học.

Mẫu dầm công-xôn kép (DCB) có chiều dài 150 mm, chiều rộng 20 mm được cắt ra từ tấm compozit. Cạnh bên của mẫu được mài nhẵn và đánh dấu bằng sơn trắng với khoảng cách 1 mm để dễ dàng theo dõi chiều dài vết nứt phát triển. Hai khớp nối động bằng nhôm được dán vào hai mặt của mẫu ở phía cuối đầu có vết nứt tạo sẵn bằng keo dán 502. Hình 1 mô tả cấu hình của mẫu DCB dùng cho phương pháp xác định độ bền dai phá hủy tách lớp theo phương thức I [7, 10].



Hình 1. Mẫu dầm công-xôn kép (DCB).

2.2.3. Thử độ dai phá hủy tách lớp biến dạng phẳng (Mode-I interlaminar fracture toughness test)

Phương pháp thử độ dai phá hủy tách lớp biến dạng phẳng được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D5528-01, trên máy đo cơ học đa năng LLOYD 500 N (Anh) với tốc độ kéo 2 mm/phút. Lực tác dụng, độ dịch chuyển của chiều rộng vết nứt và chiều dài vết nứt được ghi lại trong quá trình vết nứt phát triển.

Phương pháp hiệu chuẩn cải tiến (modified compliance calibration, MCC) được sử dụng để tính toán độ dai phá hủy tách lớp biến dạng phẳng của mẫu compozit. G_{IC} và G_{IP} được tính bằng công thức sau [7, 10]:

$$G_{IC} = \frac{3m}{2(2h)} \left(\frac{P_c}{B} \right)^2 \left(\frac{BC}{N} \right)^{2/3} F \quad (2)$$

$$G_{IP} = \frac{3m}{2(2h)} \left(\frac{P_p}{B} \right)^2 \left(\frac{BC}{N} \right)^{2/3} F \quad (3)$$

$$F = 1 - \frac{3}{10} \left(\frac{\delta}{a} \right)^2 - \frac{3}{2} \left(\frac{\delta t}{a^2} \right) \quad (4)$$

$$N = 1 - \left(\frac{L'}{a} \right)^3 - \frac{9}{8} \left[1 - \left(\frac{L'}{a} \right)^2 \right] \left[\left(\frac{\delta t}{a^2} \right) - \frac{9}{35} \left(\frac{\delta}{a} \right)^2 \right] \quad (5)$$

trong đó: G_{IC} - độ dai phá hủy tách lớp khi vết nứt bắt đầu xảy ra; G_{IP} - độ dai phá hủy tách lớp trung bình của cả quá trình; B - chiều rộng mẫu DCB; $2h$ - chiều dày mẫu DCB; P_c - lực lớn nhất khi vết nứt bắt đầu xảy ra, N; P_p - lực trung bình của cả quá trình tách lớp, N; δ - độ dịch chuyển của chiều rộng vết nứt, mm; a - chiều dài vết nứt, mm; C - hệ số thuận tương ứng với chiều dài vết nứt.

$$C = \frac{\delta}{P} \quad (6)$$

N - hệ số hiệu chỉnh của δ khi xét đến ảnh hưởng của khớp nối động bằng nhôm đến độ cứng của mẫu; F - hệ số hiệu chỉnh liên quan đến độ dịch chuyển vết nứt; m - hệ số góc của đường thẳng biểu diễn mối quan hệ giữa $(BC/N)^{1/3}$ và $(a/2h)$; t - khoảng cách được định nghĩa trên Hình 1, mm; L' - khoảng cách từ tâm của chốt định vị trên khối nhôm đến cạnh của khối nhôm về phía chiều vết nứt phát triển (Hình 1), mm.

2.2.4. Phương pháp xác định tính chất cơ học của vật liệu polyme compozit

Độ bền kéo được xác định trên máy INSTRON 5582-100 KN (Mỹ) theo tiêu chuẩn ASTM D638, tốc độ kéo 2 mm/phút, nhiệt độ 25 °C, độ ẩm 70 %.

Độ bền uốn được xác định trên máy INSTRON 5582-100 KN (Mỹ) theo tiêu chuẩn ASTM D790, tốc độ uốn 2 mm/phút, khoảng cách giữa hai gối đỡ bằng 80 mm, nhiệt độ 25 °C, độ ẩm 70 %.

Độ bền va đập Izod của nhựa nền được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D256 trên máy Tinius Olsen (Mỹ), nhiệt độ 25 °C và độ ẩm 70 %.

2.2.5. Kính hiển vi điện tử quét

Cấu trúc hình thái học bề mặt phá hủy tách lớp của các mẫu compozit được quan sát trên kính hiển vi điện tử quét (SEM) JEOL JSM 6360LV (Nhật Bản). Trước khi quan sát bằng SEM, tất cả các mẫu được phủ bằng lớp mỏng Pt để tránh hiện tượng tích điện.

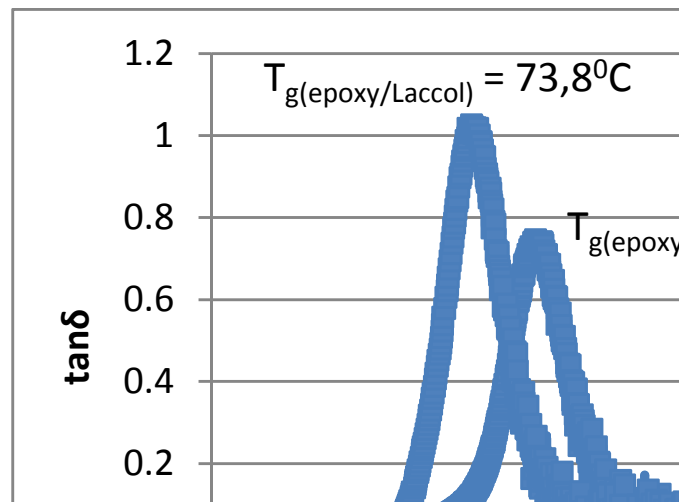
2.2.6. Phân tích cơ nhiệt động (DMTA)

Phân tích cơ nhiệt động (Dynamic Mechanical Thermal Analyzer - DMTA) của mẫu được xác định trên máy DMA 8000 Perkin Elmer.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đường cong cơ nhiệt động (DMTA) của nhựa nền epoxy Epikote 828 biến tính bằng laccol (Epolac) sử dụng đóng rắn XEDETA

Trong quá trình sử dụng ở môi trường khắc nghiệt như chịu rung lắc, nhiệt độ, độ ẩm... ta phải biết được khả năng chuyển trạng thái của polyme để sử dụng cho phù hợp, do vậy đã tiến hành xác định tính chất cơ nhiệt động của mẫu nhựa epoxy không biến tính và có biến tính bằng laccol, sử dụng đóng rắn XEDETA. Mẫu được đổ trong khuôn thép có kích thước $50 \times 7 \times 2$ mm, sau 3 tuần khi đã đóng rắn hoàn toàn, đem đi xác định cơ nhiệt động. Kết quả nhận được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Đường cong cơ nhiệt động (DMTA) của nhựa nền epoxy Epikote 828 biến tính và không biến tính bằng laccol.

Kết quả trên Hình 2 cho thấy, ở mẫu không biến tính laccol nhiệt độ hóa thủy tinh $T_g = 91,5\text{ }^\circ\text{C}$ và $\tan\delta = 0,72$. Trong khi đó ở mẫu có biến tính 20 % laccol, nhiệt độ hóa thủy tinh giảm xuống $T_g = 73,8\text{ }^\circ\text{C}$ và $\tan\delta = 1,05$. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với dự đoán ban đầu là khi đưa laccol vào nhựa epoxy đã làm giảm mật độ khâu mạch, đồng thời làm tăng tính mềm dẻo của nhựa epoxy và kết quả là khả năng chịu nhiệt kém hơn so với nhựa epoxy không biến tính. Các tác giả [12, 13] cũng chỉ ra rằng khi đưa các chất biến tính vào nhựa epoxy để cải thiện khả năng dai hóa của nhựa, kết quả cũng làm cho T_g giảm một cách rõ rệt.

3.2. Tính chất cơ học của vật liệu compozit trên cơ sở nhựa epoxy Epikote 828 và Epolac gia cường sợi thủy tinh đóng rắn bằng XEDETA

Đã tiến hành xác định tính chất cơ học của vật liệu epoxy Epikote 828 biến tính 20 % laccol, gia cường sợi thủy tinh C-350 g/m² với tỉ lệ nhựa/sợi = 40/60, sử dụng đóng rắn XEDETA. Mẫu vật liệu được lăn ép bằng tay, sau 3 tuần được đem đi cắt mẫu và xác định tính chất cơ học. Kết quả nhận được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ học của epoxy Epikote 828 và Epolac gia cường sợi thủy tinh.

TT	Vật liệu	Kéo		Uốn		Bền va đập (KJ/m ²)
		Độ bền (MPa)	Modun (GPa)	Độ bền (MPa)	Modun (GPa)	
1	Epikote 828/sợi thủy tinh/ XEDETA. k = 1,2	185,8	5,9	246,8	19,5	179,05
2	Epolac/sợi thủy tinh/ XEDETA. k = 1,2	210,8	4,2	243,0	18,7	258,04

Từ Bảng 1 nhận thấy, khi đưa laccol vào tổ hợp Epikote 828 (Epolac), đóng rắn bằng XEDETA với hệ số k = 1,2 gia cường sợi thủy tinh, các tính chất cơ học đều thay đổi. Cụ thể độ bền kéo tăng nhẹ 13,4 % (từ 185,8 lên 210,8 MPa), môđun kéo lại giảm xuống 28,8 % (từ 5,9

xuống 4,2 GPa). Độ bền uốn và môđun uốn đều giảm xuống. Như vậy cả hai tính chất kéo và uốn đều làm giảm môđun khi có mặt laccol. Hiện tượng này xảy ra có thể là do khi đưa laccol vào nhựa epoxy đã làm tăng khối lượng phân tử giữa các cầu nối ngang, dẫn đến mạch mềm dẻo. Các kết quả nghiên cứu [7, 12] đã chỉ ra rằng khi đưa các chất làm tăng độ bền dai của nhựa epoxy, hầu như độ bền kéo cải thiện không đáng kể hoặc có thể bị giảm chút ít.

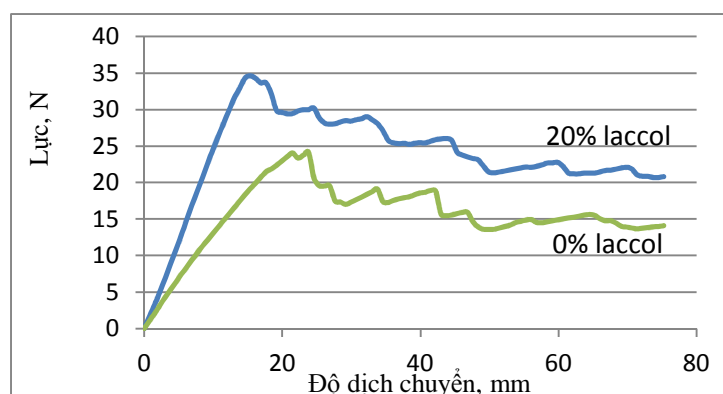
Tuy nhiên, độ bền va đập Izod có khía tăng từ 179,05 KJ/m² lên 258,04 KJ/m² (tăng 44,1 %). Như vậy khi đưa laccol vào vật liệu composit hầu như không làm thay đổi nhiều đến độ bền kéo và độ bền uốn, nhưng đã làm tăng độ bền va đập một cách đáng kể.

3.3. Độ bền dai tách lớp của vật liệu epoxy Epolac gia cường sợi thủy tinh, sử dụng đóng rắn XEDETA

3.3.1. Đường cong tác dụng lực-độ dịch chuyển

Đã sử dụng Epolac có chứa 20 % laccol trong cấu trúc phân tử, đóng rắn bằng XEDETA và gia cường sợi thủy tinh C-350 g/m² với tỉ lệ khối lượng nhựa/sợi = 40/60. Kết quả nhận được trình bày trên đồ thị Hình 3.

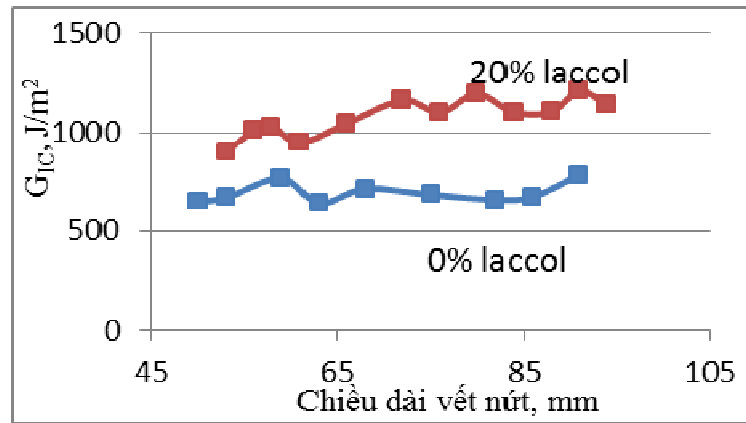
Hình 3 biểu diễn các đường cong đặc trưng cho mối quan hệ giữa lực kéo P và độ dịch chuyển mở rộng vết nứt δ của mẫu DCB có và không có laccol. Ở mẫu không có laccol cho thấy lực tác dụng lớn nhất khi vết nứt bắt đầu xuất hiện và đạt 24,1 N, nhỏ hơn nhiều so với mẫu có laccol 34,6 N. Sau khi xuất hiện vết nứt đầu tiên, lực tác dụng giảm dần và tỉ lệ nghịch với độ dịch chuyển.



Hình 3. Đường cong đặc trưng lực tác dụng-độ dịch chuyển của phép đo độ bền dai tách lớp trên mẫu DCB của vật liệu có và không có laccol.

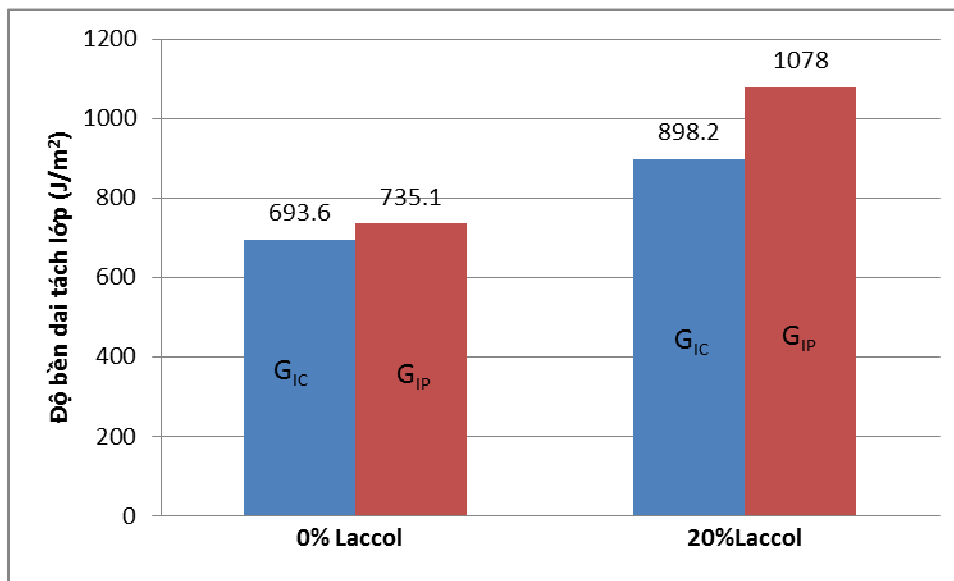
3.3.2. Độ bền dai tách lớp G_{IC}

Mối quan hệ giữa độ bền dai tách lớp G_{IC} với chiều dài vết nứt của vật liệu polyme composit khi không có laccol và có laccol được trình bày trên Hình 4. Kết quả trên Hình 4 cho thấy, cùng một độ dài tách lớp nhưng ở mẫu có laccol tần suất xuất hiện vết nứt nhiều hơn, thời gian tách lớp chậm hơn và ổn định hơn so với mẫu không có laccol.



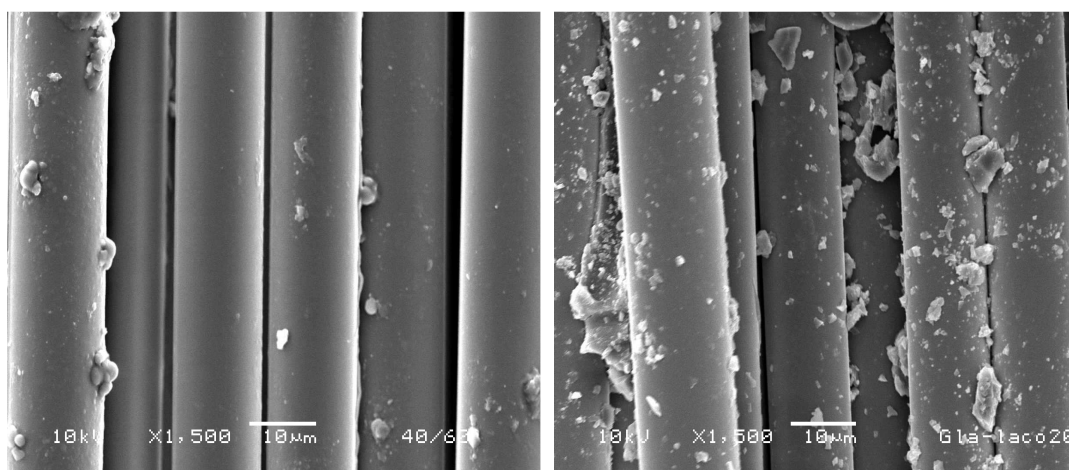
Hình 4. Quan hệ giữa năng lượng tách lớp G_{IC} và chiều dài vết nứt của mẫu DCB.

Độ bền dai tách lớp ban đầu G_{IC} ở mẫu có laccol cao hơn so với mẫu không có laccol là 29,5 % (từ 693,6 lên 735,1 J/m²), trong khi đó độ bền dai tách lớp của cả quá trình G_{IP} ở mẫu có laccol cao hơn so với mẫu không có laccol 20 % (từ 898,2 lên 1078 J/m²), (thể hiện trên Hình 5). Các tác giả [14] cũng chỉ ra rằng khi đưa 10 % nanosilica, 10 % cao su lỏng CTBN hay tổ hợp lai tạo 10 % nanosilica và 10 % CTBN vào nhựa nền epoxy đều làm tăng năng lượng phá hủy tách lớp của vật liệu polyme compozit. Như vậy, khi đưa 20 % laccol vào tổ hợp nhựa nền đã cải thiện đáng kể độ bền dai tách lớp của mẫu vật liệu polyme compozit.



Hình 5. Độ bền dai phá hủy tách lớp của mẫu compozit có và không có laccol.

Để đánh giá vai trò của laccol trong nhựa nền epoxy, đã chụp ảnh SEM bề mặt phá hủy tách lớp của mẫu vật liệu compozit. Kết quả nhận được trình bày trên Hình 6.



(a) - 0 % laccol

(b) - 20 % laccol

Hình 6. Ảnh SEM bề mặt phá hủy tách lớp của mẫu vật liệu composit (a) - không sử dụng và (b) - có sử dụng laccol làm tác nhân tăng độ bền dai.

Quan sát ảnh SEM cho thấy, ở mẫu không có laccol bề mặt phá hủy của mẫu nhẵn hơn và trên bề mặt sợi có rất ít nhựa bám lại. Trong khi đó ở mẫu có 20 % laccol bề mặt phá hủy không nhẵn và lượng nhựa bám dính lên bề mặt sợi sau quá trình tách lớp nhiều hơn. Điều đó chứng tỏ khi có mặt laccol đã làm tăng khả năng liên kết giữa sợi và nền, kết quả dẫn đến năng lượng tách lớp cần thiết của mẫu có chứa 20 % laccol lớn hơn so với mẫu không chứa laccol. Như vậy, vai trò của laccol trong tổ hợp vật liệu đã được kiểm chứng và hoàn toàn phù hợp với kết quả nhận được nhờ ảnh SEM.

4. KẾT LUẬN

Độ bền kéo, uốn của vật liệu epoxy Epikote 828 sử dụng đóng rắn XEDETA ở hàm lượng laccol 20% và gia cường bằng sợi thủy tinh không có sự thay đổi nhiều so với tổ hợp vật liệu không biến tính bằng laccol, tuy nhiên độ bền va đập Izod tăng từ 179,05 KJ/m² lên 258,04 KJ/m² (tăng 44,1%).

Khi đưa 20 % laccol vào tổ hợp nhựa nền epoxy Epikote 828 làm cho quá trình tách lớp chậm hơn, đồng thời năng lượng tách lớp của vật liệu cũng lớn hơn. Cụ thể G_{IC} tăng từ 693,6 J/m² lên 898,2 J/m² (tăng 29,5 %), G_{IP} tăng từ 735,1 J/m² lên 1078,0 J/m² (tăng 46,6 %).

Lời cảm ơn. Các tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Vật liệu polyme và Composit, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mehdi Barikani, Hossein Saidpour and Mutlu Sezen - Mode-I Interlaminar Fracture Toughness in Unidirectional Carbon-fiber/Epoxy Composites, Iranian Polymer Journal **11** (6) (2002) 413-423.

2. Kepple K. L., Sanborn G. P., Lacasse P. A., Gruenberg K. M., Ready W. J. - Improved fracture toughness of carbon fiber composite functionalized with multi walled carbon nanotubes, *Carbon* **46** (2008) 2026-2033.
3. Unnikrishnan K. P., Thomas Thachil E. - Toughening of epoxy resins, *Designed Monomers and Polymers* **9** (2) (2006) 129-152.
4. May C. A. - *Epoxy resins: Chemistry and technology*, Marcel Dekker, Inc. USA, 1998.
5. Mallick P. K. - *Fiber-Reinforced Composites. Materials, Manufacturing and Design*, CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London - New York, 3rd Edition, 2008.
6. Romhány G., Szebényi G. - Interlaminar crack propagation in MWCNT/fiber reinforced hybrid composites, *eXPRESS Polymer Letters* **3** (3) (2009) 145-151.
7. Nguyen Tien Phong, Mohamed H. Gabr, Kazuya Okubo, Bui Chuong, Toru Fujii - Improvement in the mechanical performances of carbon fiber/epoxy composite with addition of nano-(Polyvinyl alcohol) fibers, *Composite Structures* **99** (2013) 380-387.
8. Lê Thị Phái, Trần Vĩnh Diệu, Tô Ngọc Kim, Phạm Quang Thọ - Cấu trúc của lacol, Phần 2: Cấu trúc của mạch nhánh, *Tạp chí Hóa học* **34** (ĐB) (1996) 56-62.
9. Trần Vĩnh Diệu, Trần Hải Ninh, Đặng Hữu Trung, Đoàn Thị Yến Oanh - Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng lacol trích li từ sơn ta đến tính chất cơ học của polyme epoxy, *Tạp chí Hóa học* **51** (4) (2013) 506-509.
10. ASTM D5528-94a - Standard test method for Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Unidirectional Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites.
11. Phan Thị Minh Ngọc, Bạch Trọng Phúc, Ngô Thị Thanh Vân - Tổng hợp và ứng dụng adduct diethyltri-amin-acrylonitril làm chất đóng rắn cho nhựa epoxy trong vật liệu polyme compozit gia cường bằng sợi thủy tinh, *Tạp chí Hóa học* **38** (3) (2000) 45-49.
12. Raghavachar R., Letasi R. J., Kola P.V., Chen Z., and Massingill J. L. - Rubber-Toughening Epoxy Thermosets with Epoxidized Crambe Oil, *JAACS* **76** (1999) 511-516.
13. Majid Abdouss, Tohid Farajpour, Morteza Derakhshani - The effect of epoxy-polysulfide copolymer curing methods on Mechanical-dynamical and Morphological properties, *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* **30** (4) (2011) 37-44.
14. Jianing Zhang, Shiqiang Deng, Lin Ye, Zhong Zhang - Interlaminar Fracture toughness and Fatigue delamination growth of CF/EP composites with matrices modified by Nano-silica and CTBN rubber, 13th International Conference on Fracture June 16-21, Beijing, China, 2013.

ABSTRACT

INTERLAMINAR FRACTURE TOUGHNESS AND MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED EPOXY RESIN/LACCOL COMPOSITES CURED WITH CYANETHYLDIETHYLENETRIAMINE HARDNER

Dang Huu Trung^{1, *}, Tran Hai Ninh¹, Tran Vinh Dieu¹, Doan Thi Yen Oanh²

¹*Polymer Center, Hanoi University of Science and Technology,*

1 Dai Co Viet, Hai Ba Trung, Hanoi

²*Publishing House for Science and Technology, VAST, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi*

*Email: *trungsms.02@gmail.com*

Epoxy resins are widely utilised as high performance thermosetting resins for many industrial applications but unfortunately some are characterised by a relatively low toughness. Laccol (LC) is a natural phenol with two hydroxyl groups in *ortho*-position and long side unsaturated hydrocarbon substitute C₁₇H₃₁. Epoxy-laccol (EP-LC) oligomers were synthesized by reaction of epoxy resin Epikote 828 with LC (1 : 1 eq) at temperature 140 ± 2 °C for 4 hrs in nitrogen condition. The mixture of EP-LC with Epikote 828 is named Epolac. Using Epolac, the effect of LC content on the mode I interlaminar fracture toughness (G_{IC}) and mechanical properties of epoxy polymers were evaluated. The obtained testing results showed that the Izod impact strength of glass fabric/epoxy (GF/EP) composites significantly increased by 44.1 % from 179.05 KJ/m² to 258.04 KJ/m², while the mode-I interlaminar fracture toughness for crack initiation and propagation also improved by 29.5 % and 20.0 %, respectively, when 20 % LC was participated in the epoxy matrix. Results obtained from dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) showed that the glass transition temperatures of the epoxy resin matrix were slightly reduced on the addition of laccol. The scanning electron microscopy (SEM) observation revealed that LC delayed the crack growth in GF/EP composite as well as the onset of matrix crack. The overall results have shown that it is possible to obtain excellent impact strength and the mode I interlaminar fracture toughness (G_{IC}) with the use of laccol as a toughness agent for the epoxy resins.

Keywords: epoxy resin, laccol, cyanethyl-diethylenetriamine, interlaminar fracture toughness, glass fiber.