

TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA VẬT LIỆU COMPOZIT SỬ DỤNG PREPREG TRÊN CƠ SỞ NHỰA PHENOLIC VÀ EPOXY GIA CƯỜNG SỢI THỦY TINH VÀ THỦY TINH-ARAMIT

Nguyễn Huy Tùng^{1*}, Trần Vĩnh Diệu¹, Đặng Hữu Trung¹, Đoàn Thị Yến Oanh^{1,2}

¹Trung tâm Nghiên cứu vật liệu polyme, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Nhà Xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Đến Tòa soạn 11-4-2015; Chấp nhận đăng 20-6-2015

Abstract

Prepreg composite materials are becoming increasingly common in the industry due to their ease of use, consistent properties and high surface quality. However, there is much to understand about prepreg prior to committing to using this material. Therefore, in this paper phenolic resin (rezolic) and two compositions, including solid epoxy resin DER633U/Hardener DEH84 and epoxy Epikote 828/Hardener Novolac have been investigated for preparing glass fiber and glass-aramid fibers reinforced prepregs. Results showed that all single resin and compositions mentioned above are satisfied technical requirements for prepregs. The best prepreg was made by composition DER633U/DEH84 because it possesses good shelf life at temperature 36-37 °C and high composite mechanical properties. For example, tensile strength 205.2 MPa and Izod impact strength 228.9 KJ/m² with C-glass fabric reinforcement 360 g/m².

Keywords. Prepreg, composite materials, epoxy resin, phenolic resin.

1. MỞ ĐẦU

Prepreg là một dạng bán thành phẩm được chế tạo từ vải, mat ở dạng phẳng được tẩm nhựa, bảo quản để sử dụng về sau theo phương pháp xếp đặt ướt (lăn ép bằng tay) hay các phương pháp tạo hình khác [1-4]. Trong prepreg, sợi được sắp xếp theo hướng 0° và tẩm nhựa trước được gọi là dải đồng hướng. Một số loại prepreg ở dạng dải đồng hướng, vải dệt hay sợi chập liên tục. Dải đồng hướng đem lại khả năng thay đổi tính chất của compozit theo ý đồ thiết kế. Prepreg vải dệt được sử dụng để chế tạo các chi tiết có dạng phức tạp, trong đó độ linh hoạt của vật liệu là vấn đề mấu chốt. Nhìn chung, prepreg có thể được phân loại thành prepreg trên cơ sở nhựa nhiệt rắn và prepreg trên cơ sở nhựa nhiệt dẻo. Các loại sợi gia cường có thể là thủy tinh, cacbon và aramit.

Nhờ được chuẩn bị trước tại nhà máy nên phương pháp sử dụng prepreg có một số ưu điểm so với phương pháp lăn ép bằng tay trực tiếp như sau: 1) Không chế được chính xác tỷ lệ sợi/nhựa; 2) Đạt được hàm lượng sợi cao hơn; 3) Không chế được chính xác chiều dày sản phẩm và 4) Giảm thiểu độc hại cho công nhân thao tác do hóa chất và dung môi bay hơi.

Do công nghệ sử dụng prepreg chưa phổ biến rộng rãi ở nước ta và có một số vấn đề về hóa học và kỹ thuật cần giải quyết nên công trình này tập trung vào nghiên cứu một số tổ hợp nhựa nền, thời gian bảo quản prepreg và đánh giá tính chất cơ học của vật liệu compozit tạo thành từ prepreg trên cơ sở nhựa phenol-fomandehyt và epoxy đóng rắn nóng gia cường sợi thủy tinh.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Nhựa rezolic tự tổng hợp từ phenol, fomalin 37 % với xúc tác amoniac 25 %, lấy 5 % so với phenol. Tất cả đều là hóa chất kỹ thuật của Trung Quốc được sử dụng trực tiếp không qua tinh chế. Nhựa rezolic tổng hợp được có các đặc trưng kỹ thuật sau: Nhiệt độ chảy mềm 80-84 °C; khối lượng riêng 1,4802 g/cm³; hàm lượng nhóm hydroxyl 21,06 %; hàm lượng phenol tự do 2,16 %; hàm lượng fomandehyt tự do 9,37 %.

Nhựa novolac tự tổng hợp từ phenol và fomalin 37 % với xúc tác HCl 37 %, lấy 1 % so với phenol. Nhựa novolac tổng hợp được có các đặc trưng kỹ thuật sau: Nhiệt độ chảy mềm 109 °C; khối lượng riêng 1,2623 g/cm³; hàm lượng nhóm hydroxyl 15,8

%; hàm lượng phenol tự do 3,9 %; hàm lượng fomandehyt tự do 0,86 %.

- Nhựa epoxy Epikote 828 (Shell Chemicals) có hàm lượng nhóm epoxy 22,63 %.

- Nhựa epoxy rắn DER663U (Dow Plastics) có hàm lượng nhóm epoxy 4,79 %.

- Chất đóng rắn DEH84 (Dow Plastics) có đương lượng hydroxyl 240-270 g/eq, là sản phẩm phản ứng của nhựa epoxy lỏng với bisphenol A, chứa 1,9 % chất xúc tiến.

- Xúc tác amin bậc ba DMP-30 (Merck) loại tinh khiết.

- Vải thủy tinh C-glass 360 g/m² và 450 g/m² (Trung Quốc).

- Vải thủy tinh E-glass 610 g/m² (Hoa Kỳ).

- Vải thủy tinh MB4500 xử lý silan 550 g/m² (Australia).

- Vải aramid 200g/m² (Australia).

2.2. Phương pháp phân tích và kỹ thuật sử dụng

2.2.1. Phân tích hóa học

Hàm lượng nhóm epoxy: Hàm lượng nhóm epoxy được xác định theo phương pháp nitrat thủy ngân với dung dịch phản ứng HCl/dioxan [5].

Hàm lượng nhóm hydroxyl: Xác định hàm lượng nhóm hydroxyl bằng cách hóa nhóm hydroxyl bằng anhydrit axetic có mặt piridin [6].

Hàm lượng phenol tự do: Xác định hàm lượng phenol tự do bằng cách brom hóa theo phương pháp Koppeschaar [6, tr.16].

Hàm lượng fomandehyt tự do: Xác định hàm lượng fomandehyt tự do theo phương pháp sunfit [7].

2.2.2. Phân tích hóa lý

Phổ hồng ngoại FTIR được xác định trên máy Perkin Elmer GX 600 (USA).

Phân tích nhiệt DTA và TGA được thực hiện trên máy phân tích nhiệt Shimadzu (Nhật Bản) trong môi trường khí nitơ, tốc độ gia nhiệt là 10 °C/phút từ 25 đến 500 °C với chén đựng mẫu làm bằng platin.

Xác định độ nhớt Brookfield: Độ nhớt được xác định theo tiêu chuẩn DIN 53018 trên nhớt kế Brookfield Model RVT-Series 93412 (Hoa Kỳ) ở nhiệt độ 25 °C.

Xác định hàm lượng phần gel (mức độ đóng rắn): Hàm lượng phần gel được xác định bằng phương pháp trích ly trong bộ Soxhlet bằng axeton. Phần gel là phần tạo thành mạng lưới không gian không bị trích ly bởi axeton trong bộ Soxhlet với thời gian 15-16 giờ. Hàm lượng phần gel là tỷ lệ

khối lượng của mẫu sau khi trích ly so với khối lượng mẫu ban đầu.

2.2.3. 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 (Hoa Kỳ) theo tiêu chuẩn ASTM D638, tốc độ kéo 2 mm/phút.

Độ bền uốn được xác định trên máy INSTRON 5582-100 KN (Hoa Kỳ) theo tiêu chuẩn ASTM D790, tốc độ uốn 2 mm/phút.

Độ bền va đập Charpy được xác định trên máy Radmana ITR-2000 (Australia) theo tiêu chuẩn ISO 179-1993. Tốc độ thử 3,5 m/s.

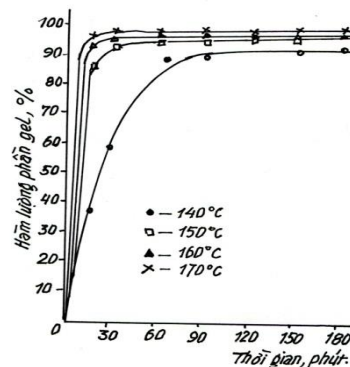
Độ bền va đập Izod được xác định trên máy Tinius Olsen (Hoa Kỳ), theo tiêu chuẩn ISO 180:1993 (E). Mẫu được khía hình chữ V với góc khía 45±1°. Tốc độ thử 3,5 m/s.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nghiên cứu chế tạo vật liệu compozit trên cơ sở nhựa rezolic gia cường sợi thủy tinh

3.1.1. Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến hàm lượng phần gel

Đã khảo sát quá trình đóng rắn nhựa rezolic ở nhiệt độ 140, 150 và 170 °C theo thời gian. Kết quả nhận được trình bày ở hình 1.



Hình 1: Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến hàm lượng phần gel của nhựa rezolic.

Từ hình 1 nhận thấy, để phù hợp với điều kiện ép nóng trong khuôn, đã chọn điều kiện đóng rắn nhựa rezolic ở 150 °C trong 30 phút. Ở những điều kiện đó hàm lượng phần gel đạt 94 %.

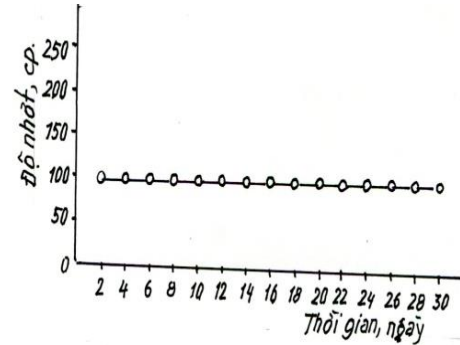
3.1.2. Tính chất cơ học của vật liệu compozit trên cơ sở nhựa rezolic gia cường sợi thủy tinh và aramid

Đã sử dụng dung môi etanol để hòa tan nhựa

rezolic. Để thuận lợi cho quá trình tẩm dung dịch nhựa lên vải thủy tinh (chuẩn bị prepreg) đã chọn nồng độ 40 % cho nhựa rezolic trong etanol. Độ nhớt của dung dịch nhựa rezolic hầu như không thay đổi trong 30 ngày khảo sát ở nhiệt độ phòng (hình 2).

Các loại sợi thủy tinh gia cường gồm có các loại: C-glass 450 g/m², E-glass 610 g/m² và lai tạo E-glass 610 g/m² với aramit 200 g/m². Kết quả nhận được trình bày ở bảng 1. Từ bảng 1 nhận thấy, vật liệu compozit nhận được có tính chất cơ học tốt. Trong trường hợp lai tạo giữa vải E-glass 610 g/m² và vải aramit 200 g/m² theo phương pháp xen kẽ, độ bền kéo đạt 230,2 MPa.

Tính chất cơ học của vật liệu compozit...



Hình 2: Sự phụ thuộc độ nhớt theo thời gian của nhựa rezolic trong dung môi etanol ở nhiệt độ phòng

Bảng 1: Tính chất cơ học của vật liệu compozit trên cơ sở nhựa rezolic

Sợi gia cường	Hàm lượng sợi (%)	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Độ bền kéo (MPa)	Độ bền uốn (MPa)	Độ bền va đập (KJ/m ²)
C-glass 450 g/m ²	62,2	1,613	116,2	127,6	46,3
E-glass 610 g/m ²	65,8	1,744	198,7	178,9	60,3
E-glass 610 g/m ² /aramit 200 g/m ²	57,6	1,423	230,2	216,0	49,2

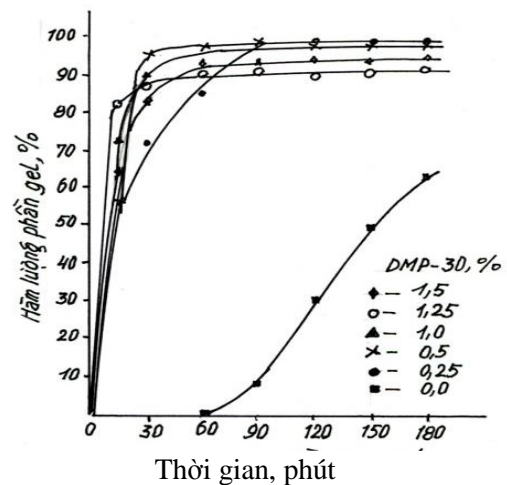
Chế độ gia công vật liệu compozit từ prepreg: Gia nhiệt ở 80 °C/1 giờ, nâng nhiệt lên 150 °C và duy trì 30 phút. Áp suất ép 50-60 KG/cm².

3.2. Nghiên cứu chế tạo vật liệu compozit trên cơ sở nhựa epoxy Epikote 828/Novolac gia cường sợi thủy tinh

3.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của xúc tác DMP-30 đến hàm lượng phần gel của tổ hợp Epikote 828/Novolac

Nhựa novolac sử dụng ở đây với tư cách là chất đóng rắn cho nhựa epoxy. Để xúc tiến nhanh quá trình đóng rắn, đã sử dụng xúc tác DMP-30. Ảnh hưởng của hàm lượng xúc tác DMP-30 đến mức độ đóng rắn của tổ hợp Epikote 828/Novolac ở 120 °C trình bày ở hình 3.

Từ hình 3 nhận thấy, điều kiện thích hợp để đóng rắn tổ hợp Epikote 828/Novolac: Nhiệt độ 120 °C trong 30 phút, với 0,5 % xúc tác DMP-30. Ở những điều kiện đó hàm lượng phần gel đạt 95 %.



Hình 3: Ảnh hưởng của hàm lượng xúc tác DMP-30 đến mức độ đóng rắn của tổ hợp Epikote 828/Novolac ở 120 °C

3.2.2. Tính chất cơ học của vật liệu compozit trên cơ sở Epikote 828/Novolac gia cường sợi thủy tinh

Đã sử dụng hỗn hợp dung môi axeton/n-butanol = 1/1 thể tích để hòa tan tổ hợp Epikote 828/Novolac ở nồng độ 45% cho dễ dàng thấm vào vải thủy tinh để tạo thành prepreg. Độ nhớt của dung dịch Epikote 828/Novolac dần tăng lên sau 10 ngày (hình 4).

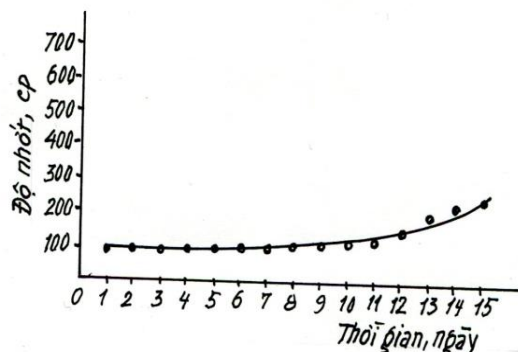
Tính chất cơ học của vật liệu compozit nhận được từ prepreg trình bày ở bảng 2.

Từ bảng 2 nhận thấy, các tính chất cơ học của vật liệu compozit trên cơ sở Epikote 828/Novolac với cùng một loại sợi gia cường C-glass 450 g/m² đều có giá trị cao hơn so với vật liệu compozit sử dụng nhựa rezolic (bảng 1), đặc biệt độ bền va đập cao hơn 32 % (tăng từ 46,3 KJ/m² lên 61,3 KJ/m²).

3.3. Nghiên cứu chế tạo vật liệu composit trên cơ sở nhựa epoxy DER663U/DEH84 gia cường sợi thủy tinh

3.3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng chất đóng rắn DEH84 đến hàm lượng phần gel của tổ hợp DER663U/DEH84

Hàm lượng chất đóng rắn DEH84 thay đổi theo giá trị 30, 32, 34, 36 và 38 PKL so với 100 PKL nhựa epoxy DER663U. Quá trình đóng rắn được thực hiện ở nhiệt độ 190 °C. Ảnh hưởng của hàm lượng chất đóng rắn DEH84 đến hàm lượng phần gel của tổ hợp trình bày ở hình 5.

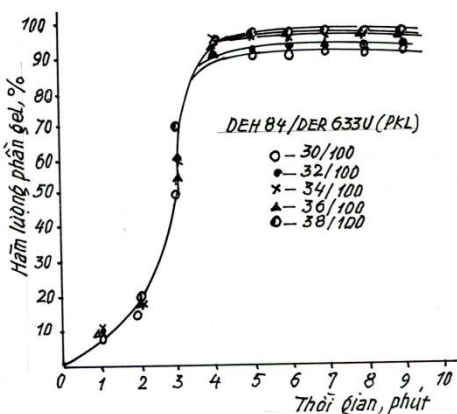


Hình 4: Sự phụ thuộc của độ nhớt theo thời gian của Epikote 828/Novolac trong hỗn hợp dung môi exeton/n-butanol ở nhiệt độ phòng

Bảng 2: Tính chất cơ học của vật liệu composit trên cơ sở Epikote 828/Novolac/DMP-30 gia cường sợi thủy tinh

Sợi gia cường	Hàm lượng sợi(%)	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Độ bền kéo (MPa)	Độ bền uốn (MPa)	Độ bền va đập (KJ/m ²)
C-glass 450g/m ²	57,0	1,627	144,3	156,6	61,3

Chú thích: Gia nhiệt từng bậc, lúc đầu ở 90 °C/1 giờ, sau nâng lên 120⁰/30 phút. Áp suất ép 50-60 KG/cm².

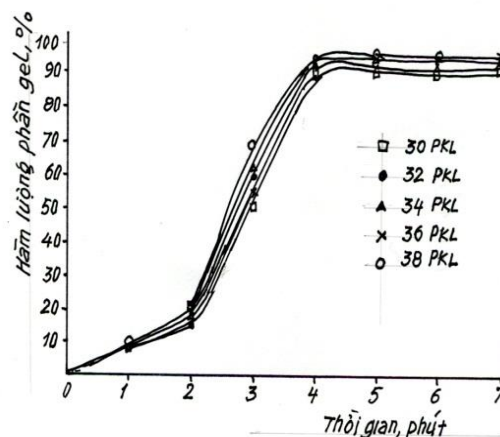


Hình 5: Sự phụ thuộc của hàm lượng phần gel vào hàm lượng DEH84 ở nhiệt độ 190 °C

Từ hình 5 nhận thấy, khi tăng hàm lượng chất đóng rắn DEH94 từ 30 lên 38 PKL, hàm lượng phần gel đều tăng từ 92 % lên 98 % ứng với hàm lượng chất đóng rắn 30 PKL và 38 PKL.

3.3.2. Ảnh hưởng của thời gian đến mức độ đóng rắn của tổ hợp DER663U/DEH84 ở nhiệt độ 190 °C

Hàm lượng chất đóng rắn DEH84 thay đổi từ 30 PKL đến 38 PKL so với 100 PKL nhựa epoxy DER663U. Phản ứng đóng rắn được thực hiện ở nhiệt độ 190 °C. Kết quả khảo sát sự thay đổi hàm lượng phần gel của tổ hợp theo thời gian trình bày ở hình 6.



Hình 6: Ảnh hưởng của thời gian đóng rắn đến mức độ đóng rắn của tổ hợp DER663U/DEH84

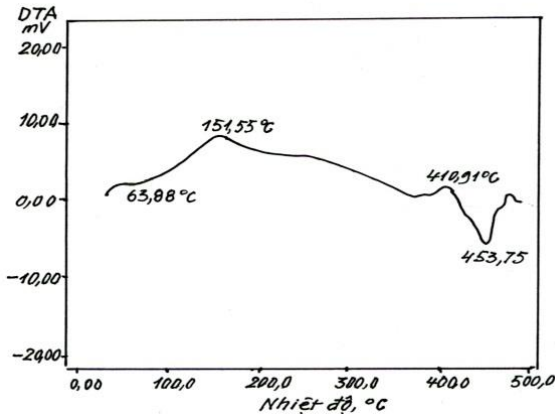
Từ hình 6 nhận thấy, ở tất cả các mẫu khảo sát, phản ứng đóng rắn xảy ra nhanh sau thời gian 2 phút. Ở thời điểm đó, hàm lượng phần gel của các mẫu đạt khoảng 20 %. Mẫu có hàm lượng chất đóng rắn cao hơn, hàm lượng phần gel cũng cao hơn nhưng không đáng kể. Phản ứng đóng rắn xảy ra khá nhanh trong khoảng thời gian 2 đến 4 phút. Sau 4 phút hàm lượng phần gel đã đạt 98 %. Tiếp đến hàm lượng phần gel tăng rất chậm. Chế độ đóng rắn này cho phép chế tạo nhanh các mẫu composit từ prepreg.

Kết quả chụp phổ hồng ngoại cho thấy, ở mẫu epoxy DER663U có các pic 1290 cm⁻¹ và 827 cm⁻¹

đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm epoxy và pic 3427 cm^{-1} đặc trưng cho nhóm hydroxyl. Sau khi đông rắn, pic 3432 cm^{-1} có cường độ hấp thụ mạnh lên rất nhiều. Trong khi đó pic 826 cm^{-1} và 1253 cm^{-1} đặc trưng cho nhóm epoxy lại có cường độ hấp thụ giảm đi rất nhanh.

3.3.3. Kết quả khảo sát phân tích nhiệt TGA và DTA

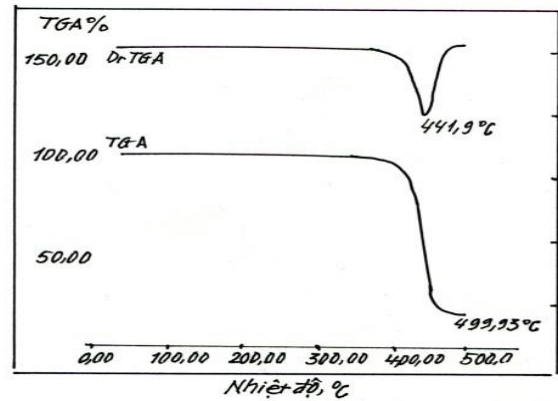
Kết quả phân tích nhiệt DTA của tổ hợp DER663U/DEH84 trình bày ở hình 7.



Hình 7: Giảm đồ DTA của tổ hợp DER663U/DEH84

Từ hình 7 nhận thấy, phản ứng đông rắn nhựa epoxy DER663U bằng DEH84 xảy ra mạnh ở 151 °C.

Kết quả phân tích nhiệt TGA của tổ hợp DER663U/DEH84 trình bày ở hình 8.



Hình 8: Giảm đồ TGA của tổ hợp DER663U/DEH84

Từ hình 8 nhận thấy, tổ hợp DER663U/ DEH84 có độ bền nhiệt rất cao. Ở nhiệt độ dưới 400 °C tổn hao khối lượng không đáng kể. Ở trên 400 °C độ tổn hao tăng dần theo nhiệt độ và có độ giảm khối lượng rất mạnh ở 441 °C. Đến gần 500 °C vật liệu gần như bị phân hủy hoàn toàn, độ suy giảm khối lượng ở nhiệt độ này là 90 %.

3.3.4. Ảnh hưởng của số lớp vải thủy tinh gia cường đến tính chất cơ học của vật liệu composit

Đã chế tạo hai loại mẫu vật liệu có số lớp vải thủy tinh với trọng lượng trên mét vuông khác nhau với nền là tổ hợp DER663U/DEH84. Mẫu được chế tạo trong khuôn ép với áp lực ép 50 KG/cm^2 , ở nhiệt độ 190 °C trong thời gian 6 phút. Kết quả nhận được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3: Ảnh hưởng của số lớp vải thủy tinh gia cường đến tính chất cơ học của vật liệu composit

TT	Tổ hợp	Hàm lượng sợi (%)	Kéo		Uốn		Độ bền va đập (KJ/m^2)
			Độ bền (MPa)	Modun (GPa)	Độ bền (MPa)	Modun (GPa)	
1	DER663U/DEH84 /vải thủy tinh C-360 g/m^2 , 17 lớp	78,5	205,2	2,7	115,3	8,1	228,9
2	DER663U/DEH84 /vải thủy tinh C-450 g/m^2 , 13 lớp	76,2	164,6	2,4	97,0	9,0	186,5

Từ bảng 3 nhận thấy, số lớp vải gia cường ảnh hưởng lớn đến tính chất cơ học của vật liệu composit. Khi tăng số lớp vải từ 13 lớp lên 17 lớp tất cả các tính chất cơ học đều tăng. Độ bền kéo tăng từ 164,6 MPa lên 205,2 MPa (tăng 24,6 %), modun kéo tăng đồng biên với độ bền kéo từ 2,4 lên 2,7 GPa; độ bền uốn tăng từ 97,0 MPa lên 115,3 MPa (tăng 18,8 %) nhưng modun uốn lại giảm từ 9,0 xuống 8,1 GPa. Điều này đúng với quy luật vì hàm

lượng sợi thủy tinh càng tăng thì độ bền kéo tăng và độ bền uốn giảm do lượng nhựa giảm. Độ bền va đập Izod có khía tăng từ 186,5 KJ/m^2 lên 228,9 KJ/m^2 (tăng 22,7 %).

3.3.5. Thời gian bảo quản của prepreg

Thời gian bảo quản hay thời gian sống của prepreg hết sức quan trọng vì nó quyết định đến thời

gian bảo quản, lưu kho và vận chuyển sản phẩm. Đã khảo sát thời gian sống của prepreg chế tạo từ tổ hợp DER663U/DEH84/vải thủy tinh, theo thời gian

(tuần), bảo quản ở nhiệt độ trên 36-37 °C (mùa hè ở Hà Nội). Kết quả nhận được trình bày ở bảng 4.

Bảng 4: Mức độ đóng rắn của prepreg chế tạo từ tổ hợp DER663U/DEH84/vải thủy tinh loại C

Thời gian sống	1 tuần	2 tuần	3 tuần	4 tuần	5 tuần	6 tuần	7 tuần
Hàm lượng phần gel (%)	0	0	0	9,8	12,7	13,5	15,6

Từ bảng 4 nhận thấy, thời gian sống của prepreg khá tốt, bảo quản ở nhiệt độ cao trên 36-37 °C vào mùa hè như vậy nhưng sau 4 tuần hàm lượng phần gel chỉ đạt 9,8 %. Tăng thời gian bảo quản lên 5, 6, và 7 tuần, nhận thấy hàm lượng phần gel tăng chậm và đạt 15,6 % sau 7 tuần. Như vậy loại prepreg này nếu bảo quản ở nhiệt độ phòng 25 °C hay thấp hơn nữa thì thời gian sống sẽ dài hơn.

4. KẾT LUẬN

Đã sử dụng có kết quả nhựa rezolic và hai tổ hợp khác là nhựa epoxy Epikote 828/Novolac và nhựa epoxy DER663U/DEH84 làm nền cho prepreg gia cường sợi thủy tinh.

Độ nhớt của dung dịch rezolic trong etanol không thay đổi sau 30 ngày ở nhiệt độ phòng, chứng tỏ nhựa rezolic thích hợp cho việc chế tạo prepreg.

Độ nhớt của dung dịch Epikote 828/Novolac trong hỗn hợp dung môi axeton/*n*-butanol dần tăng lên sau 10 ngày ở nhiệt độ phòng (25-30 °C). Như vậy cần bảo quản prepreg ở nhiệt độ dưới 10 °C để kéo dài thời gian sống.

Khảo sát trực tiếp prepreg trên cơ sở nhựa epoxy DER663U/DEH84 nhận thấy ở nhiệt độ khá cao 36-37 °C vào mùa hè nhưng sau 7 tuần hàm lượng phần gel chỉ tăng lên 15,6 %. Như vậy, tổ hợp DER663U/DEH84 rất thích hợp để chế tạo prepreg.

Tính chất cơ học của vật liệu compozit chế tạo từ các prepreg của công trình này đều tốt và phụ thuộc vào loại sợi thủy tinh gia cường hay lai tạo với sợi aramit. Song nổi bật nhất là vật liệu compozit đi từ prepreg trên cơ sở tổ hợp DER663U/DEH84, độ bền kéo đạt giá trị cao nhất 205,2 MPa khi chỉ gia

cường bằng vải thủy tinh 360 g/m² và độ bền va đập cũng đạt giá trị cao nhất 228,9 KJ/m² với loại vải thủy tinh gia cường này.

Lời cảm ơn. Công trình được hoàn thành với sự hỗ trợ kinh phí của Đề tài cấp Nhà nước, mã số ĐT-PTNTĐ.2012-G/01. Các tác giả cảm ơn Phòng thí nghiệm Trọng điểm vật liệu Polyme và Compozit Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Sanjay K. Mazumdar. *Composites Manufacturing. Materials, Product and Process Engineering*, CRS Press. Boca Raton London New York Washington DC, 40-44 (2002).
- Wetherhead R. G. FRP Technology. *Fibre Reinforced Resin Systems*, Applied Science Publishers LTD, London, 355-358 (1980).
- John Murphy. *Reinforced Plastics Handbook*. Elsevier Advanced Technology, 26-27 (1994).
- Charles A. Harper. *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*. McGraw-Hill, New York...Toronto. 2.6.2 (1996)
- Trần Vĩnh Diệu. Luận án tiến sĩ khoa học hóa học. *Nghiên cứu trong lĩnh vực tổng hợp và ứng dụng các polymer trên cơ sở laccol (tiếng Nga)*. Matxcova, tr. 256-257 (1982).
- T. N. Kasterina, L. S. Kalinina. *Khimicheskie metodur isledovanhia synthechisheskix smol i plaschisheskix mass*. Goskhimizdat, Maxcova, 111-112 (1962).
- M. F. Sorokin, K. A. Lialiuskko. *Prachikum po synthechisheskim polymeram dolia lakov*, Izd Vurtshaia skola, Maxcova 190 (1965).

Liên hệ: Nguyễn Huy Tùng

Trung tâm nghiên cứu vật liệu polyme
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội
E-mail: tungnh@gmail.com.