

TỐI ƯU HÓA CÁC YẾU TỐ CÔNG NGHỆ TRONG CHẾ TẠO VẬT LIỆU CỐT COMPOSITE POLYMER

ThS. **BÙI THỊ THU PHƯƠNG**

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

PGS.TS. **NGUYỄN VŨ THÔNG**

Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng

TS. **NGUYỄN THẾ HÙNG**

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt: Vật liệu cốt composite polymer có ưu thế vượt trội là ứng suất kéo cao hơn thép truyền thống đến 1,5-2 lần, nhẹ hơn đến 5 lần, do đó có thể dùng cho các công trình có yêu cầu đặc biệt. Mục tiêu nghiên cứu này là tối ưu hóa các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến quá trình chế tạo vật liệu. Từ đó từng bước làm chủ công nghệ lõi và làm chủ hoàn toàn hệ thống dây chuyền sản xuất thép cốt composite polymer tại Việt Nam.

1. Mở đầu

Vật liệu sợi thủy tinh trong công nghệ chế tạo thanh cốt composite polymer được nghiên cứu lựa chọn là sợi E-Glass... Tỷ lệ sợi thủy tinh trong thành phần cốt composite polymer trong trên thế giới phổ biến ở mức 60-75%. Trong công nghệ này, các sợi thủy tinh được nhúng thấm đẫm nhựa epoxy. Một lượng chất đóng rắn được bổ sung vào mẻ liệu sao cho thời gian đông cứng phù hợp với các giai đoạn tiếp theo. Do đó, việc nghiên cứu tỷ lệ chất đóng rắn trong quá trình chế tạo vô cùng quan trọng. Chất lượng thanh cốt composite polymer còn phụ thuộc vào tốc độ kéo sợi qua một buồng gia nhiệt dài. Tốc độ chậm sẽ không đảm bảo năng suất. Ngược lại, nếu tốc độ kéo nhanh thì quá trình đóng rắn chỉ xảy ra trên lớp bề mặt. Nhiệt độ trong ống gia nhiệt đóng vai trò quan trọng trong suốt quá trình đóng rắn của thanh cốt composite polymer. Nếu gia nhiệt quá cao sẽ dẫn đến cháy hoặc bay hơi keo epoxy một cách cục bộ. Nếu gia nhiệt quá thấp thì thanh thép composite sẽ mềm vì chưa kịp đóng rắn [1,2].

Như vậy ba yếu tố công nghệ chính là tỷ lệ chất đóng rắn, tốc độ kéo sợi thủy tinh và nhiệt độ đóng rắn. Các yếu tố này có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của thanh cốt composite polymer. Chất lượng thanh thép được thể hiện thông qua đặc tính cơ lý nói chung của sản phẩm cuối cùng, đặc biệt là ứng suất kéo. Như vậy chế độ công nghệ tối ưu sẽ là chế độ cho phép thu được ứng suất kéo cao nhất, tức là tổ hợp của ba yếu tố công nghệ (tỷ lệ đóng rắn, tốc độ kéo và nhiệt độ đóng rắn) sao cho ứng suất kéo đạt giá trị max. Chế độ công nghệ tối ưu được nghiên cứu bằng mô hình quy hoạch thực nghiệm ba yếu tố: tỷ lệ chất đóng rắn, tốc độ kéo sợi thủy tinh và nhiệt độ đóng rắn trong ống gia nhiệt trong tương quan của hàm mục tiêu là ứng suất kéo của thanh cốt composite polymer.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu và thiết bị

➤ Vật liệu

- Sợi thủy tinh E-Glass;
- Nhựa Epoxy;
- Chất đóng rắn.

➤ Thiết bị

Hệ thống dây chuyền sản xuất thanh cốt composite polymer tại Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (Hệ thống dây chuyền là kết quả nghiên cứu của đề tài cơ sở cấp Viện tại Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng nghiệm thu tháng 6-2014).

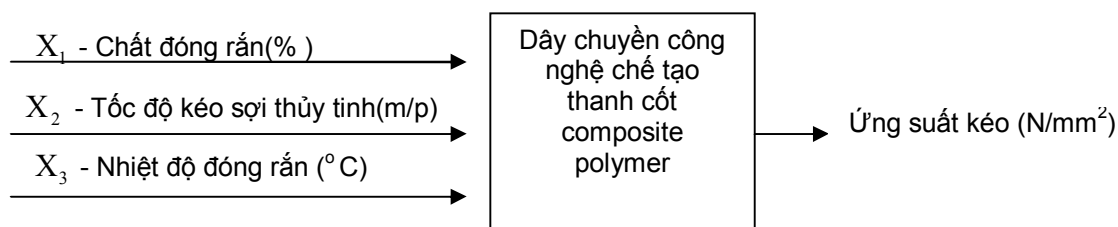


Hình 1. Hệ thống dây chuyền sản xuất thanh cốt composite polymer

2.2 Phương pháp nghiên cứu

a. Nghiên cứu lý thuyết

Theo yêu cầu của bài toán, các yếu tố đầu vào được chọn ảnh hưởng đến đặc tính cơ lý của vật liệu gồm: tỷ lệ chất đóng rắn - X_1 (%), tốc độ kéo sợi thủy tinh - X_2 (m/ph), nhiệt độ đóng rắn - X_3 ($^{\circ}\text{C}$). Hàm hồi quy được chọn là ứng suất kéo của vật liệu.



Hình 2. Mô hình qui hoạch thực nghiệm chế tạo cốt composite polymer

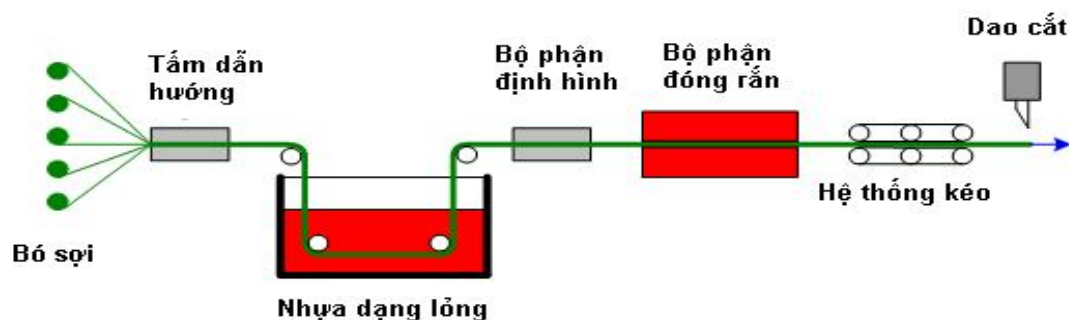
Để mô tả quá trình thực nghiệm tương thích bằng những mặt phi tuyến, chúng tôi tiến hành qui hoạch thực nghiệm cấp II nhằm cung cấp tối đa các thông tin để người nghiên cứu đạt được kết quả tốt nhất nhanh nhất và tiết kiệm nhất. Phương án qui hoạch thực nghiệm trực giao cấp II được dùng để xác định giá trị tối ưu của hàm mục tiêu. Hàm mục tiêu có dạng: $Y = (X_1, X_2, X_3)$. Ứng suất kéo phải tiến đến giá trị Max trong khi điều chỉnh các yếu tố công nghệ X_1 , X_2 và X_3 [3]. Do đó dẫn đến việc giải bài toán tối ưu: xác định cực trị của hàm mục tiêu:

$$Y_{\max} = \max Y(X_1, X_2, X_3)$$

b. Nghiên cứu thực nghiệm

• Sơ đồ công nghệ chế tạo cốt composite polymer tổng quát

Chế tạo cốt composite polymer từ sợi thủy tinh E-Glass và nhựa Epoxy bao gồm ba công đoạn chính như hình 3:



Hình 3. Sơ đồ công nghệ tổng quát chế tạo thanh thép thủy tinh

• **Mô tả công nghệ:**

Công nghệ chế tạo cốt composite polymer là công nghệ kéo liên tục các bó sợi thủy tinh đã tẩm epoxy qua một dây chuyền công nghệ chuyên dụng. Trong thực nghiệm này, các mẫu thanh cốt composite polymer có đường kính $\Phi 10$, được chế tạo qua 3 giai đoạn:

Giai đoạn 1: Hòa trộn nhựa epoxy với sợi thủy tinh. Để chế tạo cốt composite polymer $\Phi 10$ cần 10 cuộn phôi sợi thủy tinh được phân phối bằng bánh xích và lô kéo sợi. Sợi thủy tinh được thấm keo nhựa trong thùng chứa keo epoxy có pha trộn chất đóng rắn với tỉ lệ có thể điều chỉnh được.

Giai đoạn 2: Định hình về kích thước. Để định hình kích thước thanh thép đường kính $\Phi 10$, thực nghiệm của chúng tôi sử dụng khuôn định hình có dạng lỗ hình trụ đường kính từ $\Phi 10$. Khuôn định hình dạng trụ có độ dài 50mm.

Giai đoạn 3: Hóa cứng nhanh trong ống gia nhiệt. Công nghệ composite có sử dụng epoxy thường được đóng rắn chậm. Có nghĩa là màng

epoxy sẽ được đóng rắn ở nhiệt độ thường (25-35°C) và kéo dài vài ngày. Việc đóng rắn chậm thường áp dụng với các loại bình bể kích thước lớn, vì không thể chế tạo các buồng gia nhiệt lớn. Tuy nhiên, thanh cốt composite polymer là một vật có kích thước nhỏ theo mặt cắt ngang. Vì vậy có thể kéo nó qua một ống gia nhiệt nhỏ, nhưng đủ dài. Như thế ta có thể tiến hành hóa cứng nhanh epoxy. Chế độ hóa cứng được điều chỉnh bởi nhiệt độ của ống gia nhiệt và thời gian mà thanh cốt thủy tinh còn mềm dẻo được di chuyển trong lòng ống gia nhiệt. Tốc độ kéo bó sợi trong ống gia nhiệt quyết định thời gian hóa cứng.

3. Thực nghiệm

3.1 Các thông số kỹ thuật cơ bản của quá trình thực nghiệm

Mục tiêu thực nghiệm này là xác định tỷ lệ chất đóng rắn trong thùng chứa keo epoxy, tốc độ kéo sợi thủy tinh đi qua thùng chứa keo và nhiệt độ đóng rắn trong ống gia nhiệt [4]. Các thông số thí nghiệm như bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật cơ bản trong thực nghiệm

TT	Thông số kỹ thuật	Giá trị
1	Tỷ lệ trộn sợi thủy tinh, nhựa epoxy	65/35
3	Quan hệ số bó sợi và đường kính thanh composite sợi thủy tinh	10 bó sợi
4	Đường kính lỗ hình trụ	$\Phi 10$
5	Chiều dài ống gia nhiệt	12000 mm
6	Phương pháp gia nhiệt	Tự động
7	Tốc độ di chuyển của thanh composite trong ống gia nhiệt	1 m/ph
8	Công suất mô tơ	1,1 kW

3.2 Mô hình hóa bài toán theo quy hoạch trực giao cấp II

Để xây dựng mô tả toán học cho quá trình chế tạo vật liệu cốt composite polymer từ các nghiên cứu

lý thuyết, các thí nghiệm thăm dò và kết quả quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp I chúng tôi tiếp tục tiến hành qui hoạch thực nghiệm trực giao cấp II. Với số lượng yếu tố công nghệ $k=3$, thì số thí nghiệm ở phương án trực giao toàn phần là $2^k=8$, số thí nghiệm thực hiện tại tâm $n_0=3$, số thí nghiệm thực hiện ở điểm sao (*) trên trục tọa độ $2k=6$. Như vậy tổng số thí nghiệm phải làm trong phương án trực giao cấp II là $N=2^k+2k+n_0=17$. Điểm sao là điểm cách tâm thực một khoảng bằng α gọi là cánh tay đòn và được tính theo công thức:

$$\alpha^2 = \sqrt{N \cdot 2^{k-2}} - 2^{k-1} \quad (1)$$

Từ đó tính được: $\alpha^2 = 1,831 \Rightarrow \alpha = 1,35$

Để ma trận thực nghiệm có thể trực giao ta đổi biến X_j^2 thành các biến phụ X_j' được tính theo công thức:

$$X_j' = X_j^2 - \frac{2^k + 2\alpha^2}{N} = X_j^2 - 0,686 \quad (2)$$

Các mức yếu tố (mức cơ sở, mức trên, mức dưới, mức (*)) được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Mức các yếu tố thí nghiệm trực giao cấp II

Các mức	Các yếu tố ảnh hưởng		
	Tỷ lệ chất đóng rắn X_1 (%)	Tốc độ kéo sợi thủy tinh X_2 (m/ph)	Nhiệt độ đóng rắn X_3 ($^{\circ}\text{C}$)
Mức trên (+1)	12	1,2	150
Mức cơ sở (0)	10	1	125
Mức dưới (-1)	8	0,8	100
Khoảng biến thiên	2	0,2	25
Alpha (cánh tay đòn)	+/- 1,35	+/- 1,35	+/- 1,35

Khi đó phương trình hồi quy cấp II có dạng:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{23}X_2X_3 + b_{13}X_1X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (3)$$

Sau khi mã hóa các biến và tiến hành thí nghiệm, kết quả thực nghiệm như bảng 3.

Bảng 3. Ma trận thực nghiệm trực giao cấp II

N		Biến mã			Biến phụ			Ứng suất kéo đo được (N/mm^2)
		X_1	X_2	X_3	$X_1^2-0,686$	$X_2^2-0,686$	$X_3^2-0,686$	
2^k	1	1	1	1	0,314	0,314	0,314	545
	2	1	1	-1	0,314	0,314	0,314	564
	3	1	-1	1	0,314	0,314	0,314	541
	4	1	-1	-1	0,314	0,314	0,314	530
	5	-1	1	1	0,314	0,314	0,314	541
	6	-1	1	-1	0,314	0,314	0,314	531
	7	-1	-1	1	0,314	0,314	0,314	539
	8	-1	-1	-1	0,314	0,314	0,314	558
$2k$	9	-1,35	0	0	1,1365	-0,686	-0,686	561
	10	1,35	0	0	1,1365	-0,686	-0,686	554
	11	0	-1,35	0	-0,686	1,1365	-0,686	535
	12	0	1,35	0	-0,686	1,1365	-0,686	552
	13	0	0	-1,35	-0,686	-0,686	1,1365	524
	14	0	0	1,35	-0,686	-0,686	1,1365	549
n_0	15	0	0	0	-0,686	-0,686	-0,686	544
	16	0	0	0	-0,686	-0,686	-0,686	546
	17	0	0	0	-0,686	-0,686	-0,686	545

Các số liệu được xử lý bằng phần mềm MS Excel và phần mềm mô phỏng SciLab nhằm phân tích các hệ số của phương trình hồi quy cấp II, bề mặt đáp ứng và tối ưu hóa hàm hồi quy. Kiểm tra sự

có nghĩa của các hệ theo chuẩn Student và sự tương thích của các phương trình hồi quy so với thực nghiệm theo tiêu chuẩn Fisher [5,6]. Kết quả chúng tôi thu được hàm hồi quy như sau:

$$\tilde{Y} = 544,64 + 1,4X_1 - 1,06X_2 - 3,69X_3 + 3,7X_1X_2 + 4,59X_1^2 - 0,92X_2^2 - 3,69X_3^2 \quad (4)$$

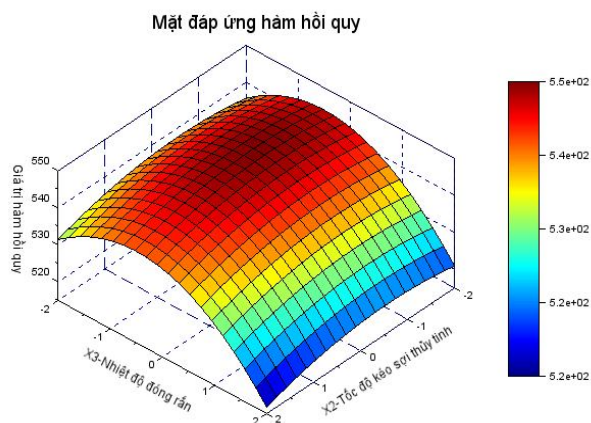
Ứng suất kéo của thanh cốt composit polymer được mô tả bởi phương trình (4). Phương trình này thể hiện sự ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ lên ứng suất kéo của vật liệu.

4. Kết quả và thảo luận

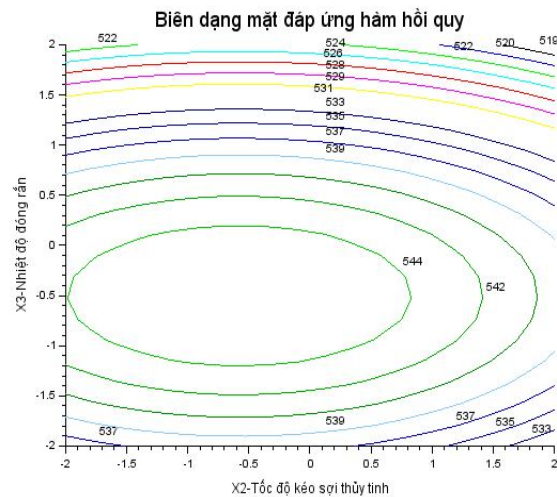
Để tìm được các giá trị tối ưu của các yếu tố công nghệ cần xét lần lượt mức độ ảnh hưởng của tương tác cặp đôi giữa hai yếu tố lên hàm hồi quy. Ảnh hưởng của tương tác cặp đôi giữa các yếu tố (khi yếu tố còn lại giữ ở mức trung tâm) lên ứng suất kéo thể hiện trên bề mặt đáp ứng như hình 4. Bề mặt đáp ứng của hàm hồi quy cho thấy giá trị

cao nhất nằm ở vùng màu đỏ đậm nhất tại vị trí uốn cong của bề mặt.

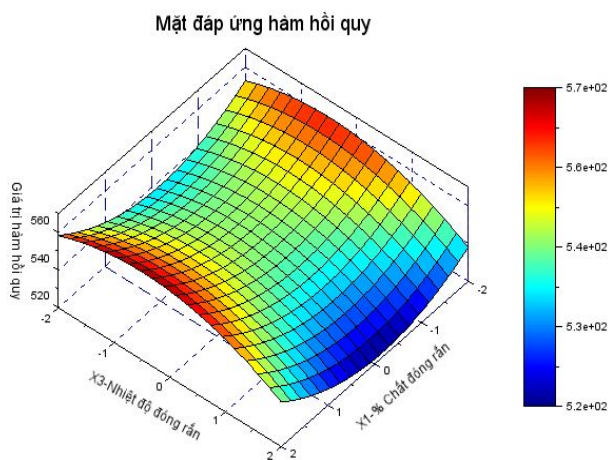
- Phương trình (4) cho thấy yếu tố X_1 - % chất đóng rắn có tác động lớn nhất đến hàm hồi quy, hay tỉ lệ chất đóng rắn ảnh hưởng lớn đến ứng suất kéo của thanh cốt composit polymer. Hai yếu tố còn lại ảnh hưởng ít hơn, do đó dẫn đến xuất hiện tối ưu của giá trị hàm hồi quy tại giá trị $X_2 = -0,576$, $X_3 = -0,5$ (hình 4a, 4b) tương ứng với giá trị thực tốc độ kéo sợi thủy tinh là 0,46 m/ph và nhiệt độ gia nhiệt đạt 112,5 °C. Như vậy dễ dàng tìm được giá trị tối ưu của yếu tố X_2 - Tốc độ kéo sợi thủy tinh và X_3 - Nhiệt độ đóng rắn.



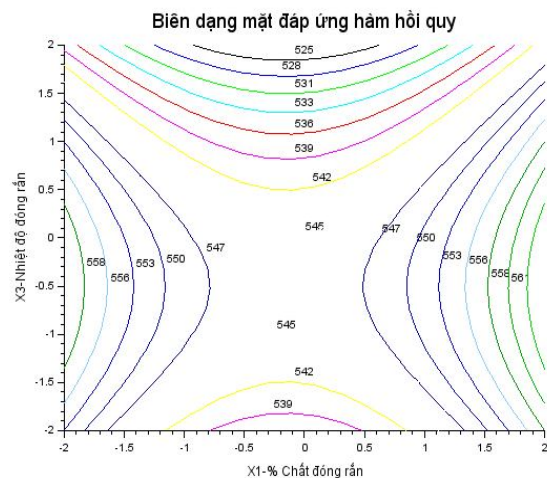
a)



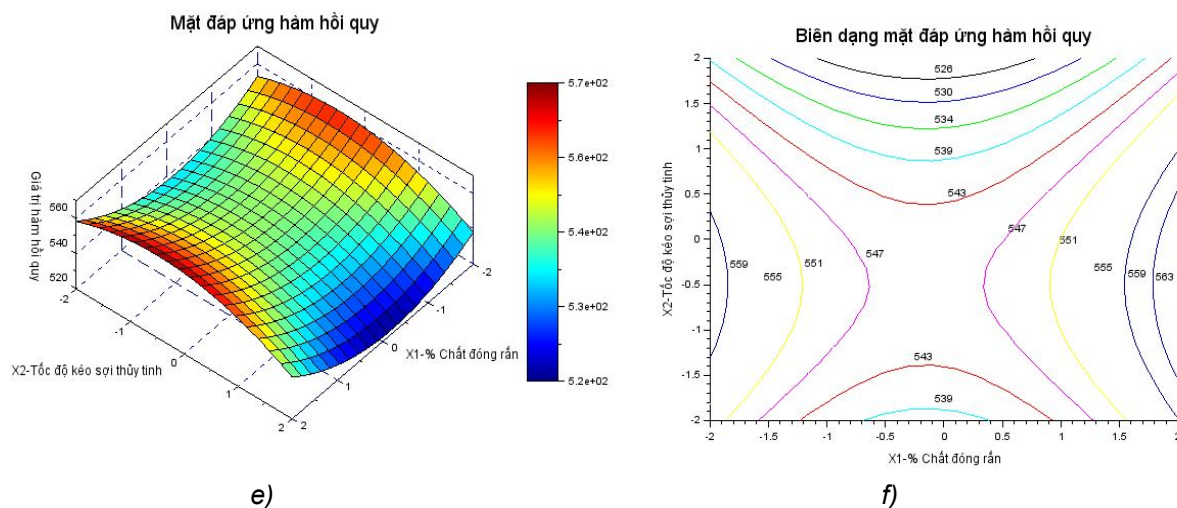
b)



c)



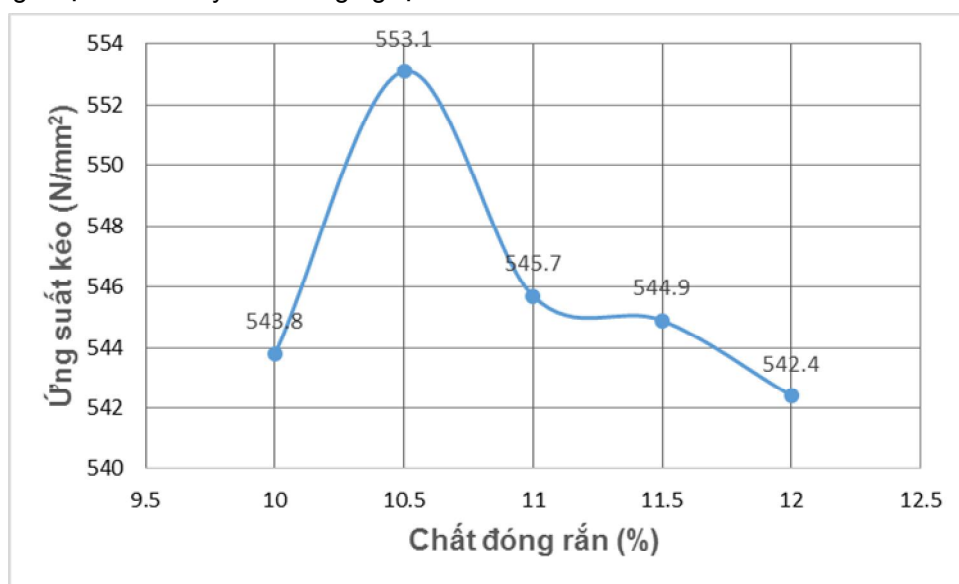
d)



Hình 4. Bề mặt đáp ứng của hàm hồi quy

- Hình 4c,d,e,f cho thấy khi nhiệt độ tăng trong vùng khảo sát từ -1 đến 1 và hai yếu tố còn lại ở mức tối ưu thì giá trị hàm hồi quy có xu hướng tăng chậm. Để tìm giá trị tối ưu cho yếu tố công nghệ còn

lại chúng tôi tiếp tục thực nghiệm thay đổi tỉ lệ chất đóng rắn với bước nhảy 0,5% tính từ tâm khảo sát. Giá trị thực nghiệm ứng suất kéo được thể hiện như hình 5.

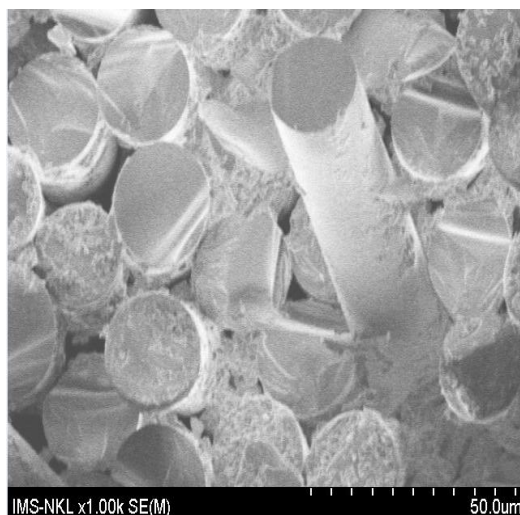
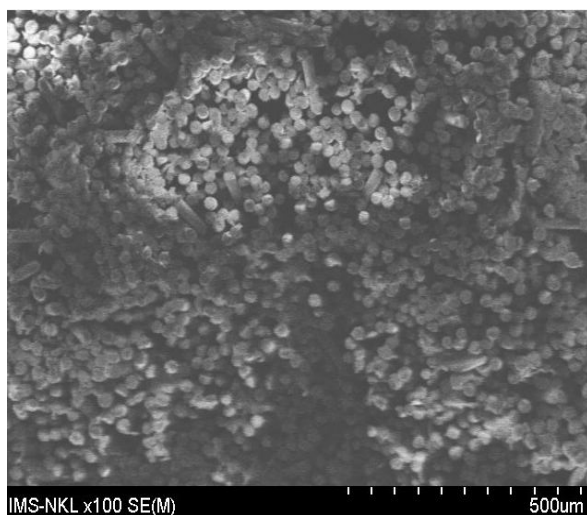


Hình 5. Mối quan hệ giữa tỉ lệ chất đóng rắn và ứng suất kéo của vật liệu khi tốc độ kéo sợi thủy tinh và nhiệt độ đóng rắn ở mức tối ưu

Kết quả thu được trên hình 5 cho thấy với 10,5% chất đóng rắn (tức biến mã $X_1 = 0,25$) thì ứng suất kéo đạt giá trị cao nhất đạt 553,1 N/mm². Để kiểm tra tính phù hợp của các thông số tối ưu tìm được theo phương trình hồi quy và từ thực nghiệm, thay các giá trị tối ưu của yếu tố đầu vào $X_1 = 0,25$, $X_2 = -0,576$, X_3 vào phương trình hồi quy (4), ta được: $\hat{Y} = 545,97$ N/mm². Kết quả thu được trong thực tế giá trị ứng suất kéo 553,1 N/mm² sai

lệch với lý thuyết tối ưu (545,97) khoảng 1,3%. Độ sai lệch giữa lý thuyết và thực tế là tương đối phù hợp.

Kết quả nghiên cứu bằng kính hiển vi điện tử quét bề mặt (SEM) các mẫu thanh cốt composit polymer ở các chế độ công nghệ tối ưu cho thấy các sợi thủy tinh phân bố và hòa quyện với lớp keo epoxy đồng đều như được trình bày trên hình 6.



Hình 6. Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của thanh cốt composit polymer ở điều kiện tối ưu với tỷ lệ chất đóng rắn 10,5 %, tốc độ kéo sợi thủy tinh 0,46 m/ph, nhiệt độ đóng rắn 112,5 °C

5. Kết luận

- Phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp II đã tìm được giá trị tối ưu của các yếu tố công nghệ trong chế tạo thanh cốt composit polymer: tỷ lệ chất đóng rắn 10,5 %, tốc độ kéo sợi thủy tinh 0,46 m/ph, nhiệt độ đóng rắn 112,5 °C. Các kết quả tối ưu này đã được sử dụng chế tạo thực nghiệm các thanh cốt composit polymer có ứng suất kéo khá cao là 553,1 N/mm². Giá trị ứng suất kéo này lớn hơn 1,5 lần thép CB240-T (CI) cùng đường kính.

- Dây chuyền công nghệ chế tạo các thanh cốt composit polymer nên được thiết kế, điều chỉnh trong phạm vi các thông số công nghệ tối ưu nêu trên. Từ đó có thể dần dần làm chủ công nghệ chế tạo hệ thống dây chuyền thiết bị, cũng như làm chủ công nghệ chế tạo vật liệu cốt composit polymer trên cơ sở sử dụng các dây chuyền thiết bị hoàn toàn nội địa hóa đó. Điều đó cũng cho phép mở ra hướng nghiên cứu hoàn thiện công nghệ hơn nữa để tăng khả năng ứng dụng của loại vật liệu mới này trong các công trình thủy lợi, công trình biển, đê kè, hầm ngầm, bến cảng,... và trong các công trình xây dựng đặc thù khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Hoàng Xuân Lượng (2003), Cơ học vật liệu composite, Nhà Xuất bản Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.
- [2]. Nguyễn Huy Tùng (2010), Hóa lý polymer, Trung tâm nghiên cứu Vật liệu Polymer, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Minh Tuyền (2005), Quy hoạch thực nghiệm, Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [4]. Nguyễn Trâm (2012), Hội nghị Khoa học Vật liệu, kết cấu và công nghệ xây dựng, “Về vật liệu xây dựng mới - chất dẻo cốt sợi Composite FRP”, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, tr 212-215.
- [5]. Nguyễn Doãn Ý (2009), Xử lý số liệu thực nghiệm trong kỹ thuật, Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật.
- [6]. Montgomery, Douglas C., Design and Analysis of Experiments (4th edition), New York John Wiley & Sons.

Ngày nhận bài: 15/8/2016.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 10/10/2016.