



Nghiên cứu phát triển hệ vật liệu polymer mới trên nền nhựa epoxy đóng rắn trong môi trường nước

Research and development of new polymer materials from water-cured epoxy resins

Trần Viết Hoàng^{1*}, Đào Quốc Tuy¹, Lê Mạnh Hùng²

¹ Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách Khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội, Việt Nam

² Tập đoàn Công nghiệp–Năng lượng Quốc gia Việt Nam

*Email: hoang.tv242275M@sis.hust.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 07/09/2025

Accepted: 29/09/2025

Published: 30/09/2025

Keywords:

Epoxy; Polymer system

Water-curable; Soxhlet

Oil well cementing

ABSTRACT

The curing mechanism in water is primarily based on the epoxy–amine ring opening reaction, which is promoted by accelerators and partially assisted by water, leading to the formation of a stable and durable crosslinked polymer network. FT-IR, DSC, and TGA analyses confirmed the successful occurrence of the synthesis reaction, with clear evidence of a crosslinked network structure and high thermal stability. Soxhlet extraction tests revealed that an amine ratio of 40/100 provided optimal performance, achieving ~72% curing after 0,5 h and approaching nearly 100% after 8 h, reflecting a reasonable balance between reaction rate and curing efficiency. Rheological evaluations demonstrated that the epoxy system exhibits non-Newtonian behavior, maintaining low viscosity even at elevated temperatures, which is advantageous for pumping operations. In addition, the gelation time of 7 h 15 min ensures sufficient initial fluidity while still enabling timely development of mechanical properties after consolidation.

Giới thiệu chung

Ngày nay nhu cầu về vật liệu tiên tiến trong công tác trám giếng dầu khí ngày càng trở nên cấp thiết, đặc biệt là những hệ chất kết dính có khả năng làm việc ổn định trong điều kiện giếng khoan khắc nghiệt. Để gắn kết nghiên cứu với thực tiễn, việc nắm vững công nghệ chế tạo vật liệu và các hệ chất kết dính chuyên dụng là yêu cầu cần thiết. Các chất kết dính hữu cơ đã được nghiên cứu gồm polyacrylamide, ure–formaldehyd, lignin, nhựa phenol, nhựa acrylat...[1–5].

Trong số các vật liệu đó chỉ có một số ít thích hợp cho giếng khoan, phổ biến nhất là xi măng, đặc biệt là xi măng siêu mịn; ngoài ra còn có polyacrylamid và gần đây là nhựa epoxy. Các vật liệu đang sử dụng có hạn

chế về độ bền cơ học và khả năng chịu nhiệt, dễ suy giảm trong môi trường nhiệt độ, áp suất cao. Chúng có thể bị co ngót, nứt gãy hoặc mất độ bám dính với thành giếng, gây nguy cơ rò rỉ khí và chất lưu.

Nhựa epoxy thu hút sự quan tâm lớn nhờ đặc tính là tiền polyme phản ứng chứa nhóm epoxit. Nhóm chức này có thể phản ứng với các chất đóng rắn mang hydroxyl, carboxyl hay amin, dưới xúc tác tạo mạng lưới ba chiều gây đóng rắn.

Một thách thức lớn là khả năng đóng rắn trong môi trường nước. Nhiều hướng tiếp cận đã được đề xuất [6–8], đáng chú ý gồm: (i) sử dụng tác nhân đóng rắn bằng ánh sáng; (ii) bằng nhiệt; hoặc (iii) chọn chất đóng rắn không bị ảnh hưởng bởi nước. Trong thực tế, epoxy được dùng trong trám ép với các dung dịch đậm (dầu

diesel, alcohol) nhằm ngăn cách nước. Phần epoxy trực tiếp bịt kín kênh dẫn chỉ tiếp xúc với bề mặt còn ướt, trong khi phần bị pha lẫn nước thường bị loại bỏ hoặc đẩy sâu hơn và không còn vai trò chính.

Nghiên cứu chế tạo hệ nhựa epoxy có độ nhớt thấp nhằm đảm bảo quá trình phối trộn các cấu tử diễn ra dễ dàng và đồng nhất. Độ nhớt thấp giúp cải thiện khả năng thấm ướt và bám dính với bề mặt vật liệu, đồng thời giảm nguy cơ tạo bọt khí trong quá trình trộn. Ngoài ra, nó cho phép kiểm soát tốt hơn tốc độ phản ứng, hạn chế gel hóa cục bộ.

Đây là hướng nghiên cứu mới tập trung phát triển hệ epoxy có khả năng đóng rắn trực tiếp trong môi trường nước, tạo mạng lưới bền chắc mà không bị thủy phân đồng thời cải thiện độ bám dính, chống thấm và tăng độ bền lâu dài cho trám giếng. Nhiều nghiên cứu ứng dụng epoxy cho trám ép và sửa chữa giếng đã chứng minh tính ưu việt của vật liệu này: bền cơ học, đàn hồi tốt, bám dính cao với ống chống, kháng ăn mòn và chịu nhiệt đến 145 °C. Epoxy còn ổn định trong các môi trường axit và kiềm mạnh (HCl 37%, H₂SO₄ 60%, NaOH 50%) ở 93 °C [9], cũng như trong hydrocarbon và alcohol, ngoại trừ một số dung môi chứa clo hoặc acetone. Hiện tại trên thị trường chưa có sản phẩm tương tự được thương mại hóa, do đó nghiên cứu này mang tính mới và tiên phong. Công trình được thực hiện dựa trên cơ sở lý thuyết về hóa học epoxy và thực nghiệm về vật liệu trong trám ép giếng khoan dầu khí. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung phát triển hệ vật liệu polymer mới trên nền nhựa epoxy có độ nhớt thấp nhằm hướng tới ứng dụng thực tiễn trong công tác trám giếng khoan dầu khí.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất - thực nghiệm

Hệ nhựa epoxy được pha chế từ 4 cấu tử chính: Diglycidyl Ether of Cyclohexane Dimethanol (DCHDM), 1,6-Hexanediol diglycidyl ether (HDDGE), chất đóng rắn Diethyl Toluene Diamine (DETDA) và chất xúc tiến 2,4,6-Tris(dimethylaminomethyl)phenol (DMP-30).

Hệ polymer-epoxy được tạo thành từ nhựa epoxy nền DCHDM và chất pha loãng HDDGE theo tỷ lệ 1:1 (100 gam epoxy nền : 100 gam HDDGE). Chất đóng rắn DETDA được bổ sung với hàm lượng 40–70 gam trên 100 gam nhựa epoxy, đồng thời chất xúc tiến DMP-30 được thêm vào với tỷ lệ 5% khối lượng so với lượng chất đóng rắn. Các thành phần này được phối trộn nhằm khảo sát khả năng đóng rắn, đồng thời công thức phối liệu được thiết kế để đảm bảo sự cân đối giữa độ nhớt, khả năng đóng rắn và tính chất cơ lý của sản phẩm.

Tỷ lệ DCHDM:HDDGE được lựa chọn 1:1 nhằm tối ưu độ nhớt ban đầu, trong khi lượng amin được xác định dựa trên tính toán lý thuyết từ khối lượng đương lượng epoxy (EEW) và amin (AHEW).

Trong đó:

EEW — Epoxy Equivalent Weight: số gam nhựa epoxy cần thiết để tạo ra 1 mol nhóm epoxy.

AHEW — Amine (Active-) Hydrogen Equivalent Weight: khối lượng của chất đóng rắn amine cần thiết để cung cấp một đơn vị khối lượng của hydrogen hoạt tính.

Quá trình pha chế tiến hành bằng cách khuấy đều DCHDM và HDDGE đến khi đồng nhất, sau đó bổ sung từ từ DETDA dưới điều kiện khuấy liên tục để tránh hiện tượng gel hóa cục bộ. Cuối cùng, DMP-30 được thêm vào và khuấy đều cho đến khi thu được hệ nhựa trong, đồng nhất và có độ nhớt thấp, sẵn sàng cho các khảo sát tiếp theo. Nếu hàm lượng quá thấp (<3%), khả năng xúc tiến không đủ mạnh, tốc độ mở vòng epoxy chậm, thời gian gel và đặc quánh không cải thiện đáng kể so với chỉ dùng chất đóng rắn chính DETDA. Ngược lại, nếu dùng quá nhiều (>7–10%), lượng amin bậc ba dư thừa có thể dẫn đến phản ứng quá nhanh, gây gel hóa cục bộ, khó kiểm soát quá trình thi công, đồng thời làm giảm tính đồng đều của mạng lưới polymer, thậm chí làm suy giảm cơ tính của vật liệu [10].

Việc bổ sung 5% chất xúc tiến DMP-30 vào hệ epoxy – amin có ý nghĩa quan trọng về mặt cơ chế phản ứng. DMP-30 là một loại amin bậc ba có nhiều nhóm chức, đóng vai trò như chất xúc tiến hoạt hóa, giúp mở vòng epoxy nhanh hơn. Khi chỉ sử dụng chất đóng rắn chính (DETDA), phản ứng xảy ra nhưng tốc độ còn chậm do hạn chế về khả năng tấn công nucleophilin vào vòng epoxy. Sự có mặt của DMP-30 đã tạo thêm các tâm hoạt động, kích thích sự tương tác giữa epoxy và amin, từ đó rút ngắn thời gian gel và thời gian đặc quánh so với khi chỉ dùng DETDA đơn thuần. Ngoài ra, DMP-30 còn có khả năng điều chỉnh cân bằng giữa phản ứng mở vòng và quá trình liên kết ngang, nhờ vậy làm tăng độ đồng đều của mạng lưới polymer hình thành.

Chi tiết cụ thể các bước như sau:

Bước 1: Chuẩn bị hệ nhựa bằng cách pha DCHDM và HDDGE theo tỷ lệ 1:1, khuấy đều đến đồng nhất.

Bước 2: Bổ sung chất đóng rắn, thêm DETDA (40–70 g/100 g nhựa epoxy) từ từ dưới khuấy liên tục để tránh gel hóa cục bộ.

Bước 3: Thêm DMP-30 là chất xúc tiến với hàm lượng 5% khối lượng so với DETDA, tiếp tục khuấy đều.

Bước 4: Khuấy đến khi thu được hỗn hợp nhựa trong, độ nhớt thấp và dùng hệ nhựa đã pha cho các thí nghiệm đánh giá khả năng đóng rắn và tính chất cơ lý.

Phương pháp nghiên cứu

Đặc tính của vật liệu được nghiên cứu bằng nhiều phương pháp phân tích hiện đại. Phổ FT-IR được sử dụng để xác định cấu trúc và các nhóm chức, qua đó theo dõi phản ứng epoxy-amin trong quá trình đóng rắn. Phép phân tích DSC giúp đánh giá sự thu tỏa nhiệt, xác định nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh (T_g) và động học đóng rắn của nhựa. Độ bền nhiệt được kiểm tra bằng TGA nhằm xác định khả năng ổn định nhiệt của hệ vật liệu.

Các đặc tính lưu biến và xúc biến của hệ nhựa được đo trên thiết bị FANN, nhằm đánh giá hành vi dòng chảy và sự thay đổi độ nhớt dưới điều kiện gia tải. Đồng thời, độ quán nhớt và thời gian đặc quán nhớt ở môi trường nhiệt độ 85 °C và áp suất 35,6 MPa được xác định bằng thiết bị Consistometer theo tiêu chuẩn API, phản ánh khả năng ứng dụng thực tế của hệ epoxy trong trám giếng dầu khí. Hàm lượng phần gel được xác định bằng phương pháp trích ly Soxhlet để làm rõ mức độ đóng rắn.

Phương pháp trích ly Soxhlet đánh giá mức độ đóng rắn

Chuẩn bị với tỷ lệ chất đóng rắn so với nhựa epoxy lần lượt là 40/100, 50/100, 60/100 và 70/100 theo khối lượng. Các hỗn hợp sau khi trộn được đặt trong tủ sấy ở nhiệt độ ổn định trong vòng 12–15 giờ nhằm hoàn tất quá trình đóng rắn sơ cấp.

Sau giai đoạn đóng rắn, khoảng 1–2 g mẫu từ mỗi hệ được lấy cho vào cốc cân dung tích 5 ml và đặt vào tủ sấy đã được làm nóng. Cứ sau mỗi giờ, tiến hành lấy mẫu ra để khảo sát mức độ liên kết mạng polymer giữa epoxy và chất đóng rắn bằng phương pháp trích ly với dung môi acetone trong hệ thống Soxhlet. Thời gian trích ly của mỗi mẫu kéo dài từ 6–8 giờ. Sau khi trích ly, phần rắn không tan được thu hồi, sấy khô và cân lại để tính toán hàm lượng gel còn lại, qua đó phản ánh mức độ đóng rắn của vật liệu.

Tính toán mức độ đóng rắn bằng công thức:

$$\text{Mức độ đóng rắn} = \left(1 - \frac{W_{\text{hòa tan}}}{W_{\text{ban đầu}}} \right) \times 100$$

Trong đó:

$W_{\text{ban đầu}}$: khối lượng mẫu trước trích ly

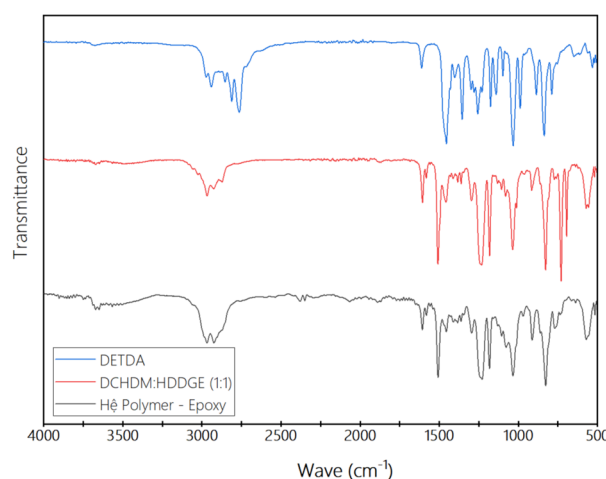
$W_{\text{hòa tan}}$: phần khối lượng bị trích ly bởi acetone

Kết quả và thảo luận

Phổ FT-IR của hệ polymer – epoxy được so sánh với chất đóng rắn (DETDA) và epoxy nền, chất pha loãng (DCHDM:HDDGE) được trình bày trong Hình 1.

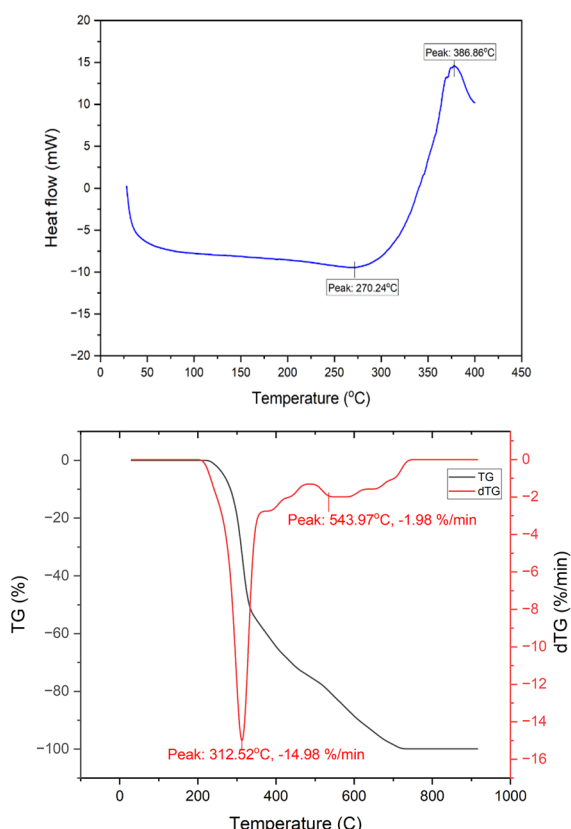
Quan sát phổ FT-IR cho thấy hệ nhựa polymer-epoxy đã hình thành những đặc trưng hấp thụ từ cả nhựa epoxy (DCHDM:HDDGE) và chất đóng rắn DETDA. Ở

vùng 3400–3300 cm^{-1} xuất hiện tín hiệu kéo dài của nhóm –NH, chứng tỏ sự hiện diện của amin từ DETDA trong cấu trúc polymer. Dải hấp thụ mạnh tại khoảng 2920–2850 cm^{-1} thể hiện dao động C–H kéo dài của mạch alkyl, vốn có trong cả epoxy và amin. Đặc biệt, đỉnh đặc trưng của vòng epoxy ở khoảng 910–920 cm^{-1} đã giảm cường độ rõ rệt, phản ánh quá trình mở vòng epoxy trong phản ứng đóng rắn. Đồng thời, sự xuất hiện của dải hấp thụ tại khoảng 1600–1650 cm^{-1} liên quan đến dao động của nhóm –NH bậc hai, chứng minh sự gắn kết hóa học giữa amin và epoxy. Phổ còn thể hiện các dải hấp thụ mạnh tại 1100–1200 cm^{-1} của liên kết C–O–C, xác nhận sự hình thành mạng lưới ether trong cấu trúc polymer. Như vậy, kết quả FT-IR chứng tỏ hệ nhựa polymer-epoxy đã đồng thời tích hợp đặc trưng của DETDA và DCHDM:HDDGE, hình thành mạng lưới polymer liên kết chéo ổn định.



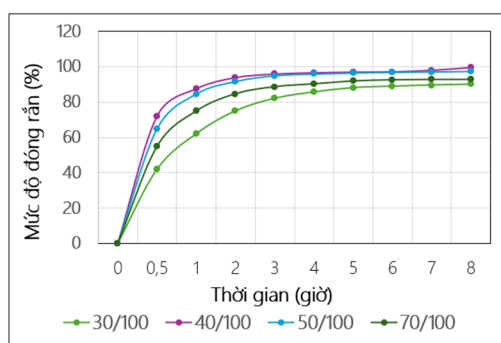
Hình 1. Phổ FT-IR của hệ nhựa polymer - epoxy (màu đen), epoxy nền và chất pha loãng (màu đỏ), chất đóng rắn (màu xanh)

Kết quả DSC cho thấy tín hiệu đặc trưng ở 270 °C, có thể coi là nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh (T_g), phản ánh trạng thái vô định hình bền vững của hệ epoxy. Đỉnh thu nhiệt tại 386,9 °C chứng tỏ sự phá vỡ một phần mạng liên kết chéo hoặc hiện tượng hậu đóng rắn ở nhiệt độ cao. Phân tích TGA ghi nhận giai đoạn phân hủy chính ở 312,5 °C với tốc độ mất khối lượng lớn nhất, thể hiện sự suy giảm mạnh của cấu trúc polymer. Giai đoạn thứ hai ở 543,9 °C phản ánh sự phân hủy sâu hơn của các sản phẩm còn lại. Đường TG cho thấy vật liệu ổn định tốt đến gần 300 °C, sau đó khối lượng giảm nhanh. Điều này khẳng định hệ epoxy có khả năng chịu nhiệt cao hơn so với nhiều hệ polymer truyền thống. Sự kết hợp DSC và TGA chứng minh tính bền nhiệt và cấu trúc mạng ổn định. Vùng làm việc an toàn có thể khuyến nghị dưới 280 °C. Kết quả này củng cố tiềm năng ứng dụng của hệ epoxy trong điều kiện giếng khoan khắc nghiệt.



Hình 2. Giảm đồ phân tích nhiệt DSC và TG, dTG của hệ nhựa polymer – epoxy

Đồ thị Hình 3 thể hiện mức độ đóng rắn của nhựa epoxy theo thời gian cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của tỉ lệ chất đóng rắn.



Hình 3. Đồ thị mức độ đóng rắn của hệ polymer-epoxy được xác định bằng phương pháp Soxhlet

Trong bốn mẫu khảo sát, hệ 40/100 đạt mức độ đóng rắn cao nhất (99,55% sau 8 giờ). Đáng chú ý, chỉ sau 1 giờ, hệ này đã đạt hơn 71,93%, phản ánh tốc độ phản ứng nhanh. Các hệ 50/100 và 70/100 cũng cho giá trị cao (95–98%) nhưng không vượt trội so với 40/100. Hệ 30/100 có kết quả thấp nhất, chỉ đạt 89,99% sau 8 giờ do thiếu chất đóng rắn. Ở tỉ lệ 40/100, phản ứng xảy ra triệt để, mạng lưới polymer ba chiều được hình thành

hoàn chỉnh. Nếu hàm lượng amin thấp (30/100), nhiều nhóm epoxy dư không phản ứng hết. Ngược lại, nếu amin quá nhiều (70/100), phần dư không tham gia phản ứng, dễ gây giòn. Do đó, 40/100 được xác định là tỉ lệ tối ưu, giúp phản ứng đóng rắn xảy ra hoàn toàn và đạt hiệu quả cao nhất.

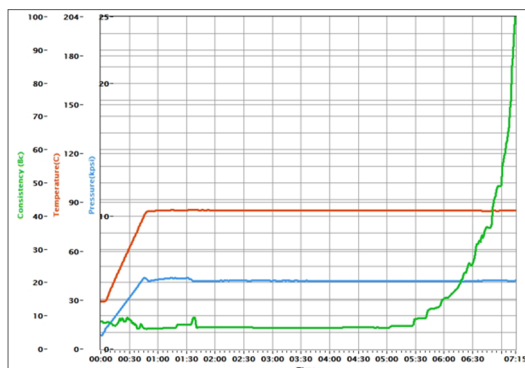


Hình 4. Thông số lưu biến của hệ vật liệu ứng với các tốc độ vòng quay khác nhau tại 85 °C

Ở tốc độ 300 vòng/phút, mẫu cho độ nhớt biểu kiến khoảng 31 cP, thể hiện rõ đặc tính của chất lỏng phi Newton. Với dạng giả dẻo, độ nhớt giảm khi tốc độ cắt tăng, giúp hỗn hợp dễ dàng được bơm ép vào khe hở giếng khoan. Khi dòng chảy dừng hoặc tốc độ cắt thấp, độ nhớt tăng trở lại, tạo khả năng giữ vững cấu trúc, hạn chế phân tách và lắng đọng hạt. Đặc điểm này rất quan trọng đối với vật liệu trám ép vì vừa đảm bảo tính bơm được, vừa duy trì độ ổn định tại chỗ. So với chất lỏng Newton, hệ phi Newton cho phép kiểm soát tốt hơn quá trình thi công trong điều kiện thay đổi áp suất và tốc độ dòng chảy. Do đó, giá trị độ nhớt 31 cP tại 300 vòng/phút không chỉ phản ánh độ linh động cao mà còn chứng minh hệ vật liệu phù hợp cho ứng dụng thực tế trong giếng khoan.

Kết quả Hình 5 cho thấy hệ epoxy bắt đầu quá trình đặc quánh chậm và duy trì trạng thái ổn định trong nhiều giờ trước khi đạt ngưỡng 100 Bc tại thời điểm 7 giờ 15 phút. Điều kiện thí nghiệm ở 85°C và 35,6 MPa đã mô phỏng chính xác môi trường giếng khoan, phản ánh khả năng chịu nhiệt và áp suất tốt của vật liệu. Sự khác biệt về tỉ lệ chất đóng rắn có ảnh hưởng rõ rệt đến thời gian đặc quánh. Nếu hàm lượng chất đóng rắn thấp, phản ứng không triệt để, dẫn tới thời gian đặc quánh kéo dài bất thường hoặc mạng lưới polymer không hoàn chỉnh. Ngược lại, khi tăng hàm lượng chất đóng rắn quá cao, phản ứng xảy ra quá nhanh, làm giảm tính linh động và khó kiểm soát thi công. Tỉ lệ 40/100 cho kết quả cân bằng, đảm bảo thời gian đặc quánh 7 giờ 15 phút, khoảng thời gian được xem là phù hợp để bơm ép và lấp đầy khe hở. Khoảng thời gian này cũng đáp ứng tiêu chuẩn API về độ ổn định, tránh hiện tượng đóng rắn sớm. Kết quả chứng minh hệ epoxy với tỉ lệ 40/100 có

tính công nghệ cao, vừa dễ bơm ép vừa duy trì hiệu quả liên kết. Do đó, đây là lựa chọn tối ưu cho hệ vật liệu trám ép trong điều kiện nhiệt độ và áp suất khắc nghiệt.



Hình 5. Đồ thị thời gian đặc quánh của hệ polymer-epoxy theo tiêu chuẩn API tại ở 85°C và 35,6 Mpa thực hiện tại nhà máy Hóa phẩm Dầu khí Cái Mép, Bà Rịa – Vũng Tàu.

Bảng 1. Độ bền nén của hệ polymer-epoxy và hỗn hợp của nó với dung dịch khoan gốc dầu trong điều kiện nhiệt độ 82 °C thực hiện tại nhà máy Hóa phẩm Dầu khí Cái Mép, Bà Rịa – Vũng Tàu.

Độ bền nén	Nhựa mới pha	Khi lẫn 10% dung dịch khoan
Độ bền nén 24 giờ	38,12 MPa	5,84 MPa
Độ bền nén 48 giờ	55,27 MPa	26,43 MPa

Kết quả thể hiện rõ sự khác biệt về độ bền nén của hệ polymer-epoxy trong hai điều kiện: nhựa mới pha và khi có lẫn 10% dung dịch khoan gốc dầu ở nhiệt độ 82 °C. Sau 24 giờ, nhựa mới pha đạt độ bền nén 38,12 MPa, trong khi mẫu có dung dịch khoan chỉ đạt 5,84 MPa, cho thấy sự suy giảm cơ học đáng kể. Sau 48 giờ, nhựa mới pha tiếp tục tăng độ bền lên 55,27 MPa, phản ánh quá trình đóng rắn hoàn thiện hơn, còn mẫu lẫn dung dịch khoan chỉ đạt 26,43 MPa, thấp hơn nhiều so với hệ tinh khiết. Số liệu chứng minh rằng sự hiện diện của dung dịch khoan cản trở sự hình thành mạng lưới polymer, làm giảm đáng kể khả năng chịu nén của vật liệu. Tuy vậy, cả hai trường hợp đều có xu hướng gia tăng độ bền theo thời gian, thể hiện cơ chế đóng rắn vẫn tiếp tục diễn ra.

Kết luận

Đã phát triển thành công hệ polymer – epoxy trên cơ sở DCHDM, HDDGE, DETDA và DMP-30, trong đó khối lượng đương lượng epoxy và amin được tính toán chính xác nhằm đảm bảo cân bằng nhóm chức, hạn chế dư thừa thành phần và tối ưu hiệu quả phản ứng đóng rắn. Phổ FT-IR cho thấy sự biến mất của dải đặc trưng epoxy cùng với sự xuất hiện tín hiệu mới, chứng minh amin

DETDa đã tham gia phản ứng và hình thành mạng polymer ba chiều. Kết quả DSC xác nhận quá trình tỏa nhiệt đặc trưng và sự xuất hiện nhiệt độ chuyển hóa thủy tinh ổn định, trong khi TGA chỉ ra độ bền nhiệt cao với giai đoạn phân hủy chính diễn ra trên 300°C, thể hiện khả năng chịu nhiệt tốt của hệ epoxy trong điều kiện khắc nghiệt của giếng dầu khí. Đặc tính lưu biến cho thấy vật liệu có độ nhớt thấp, ổn định và mang tính chất lỏng phi Newton, rất thuận lợi cho quá trình bơm ép dưới áp suất cao.

Khảo sát mức độ đóng rắn khẳng định rằng hệ có tỉ lệ 40/100 đạt hiệu quả tối ưu, khi sau 8 giờ đạt gần 99,55% mức độ đóng rắn, vượt trội hơn so với các tỉ lệ khác nhờ cân bằng hợp lý giữa nhóm epoxy và amin. Bên cạnh đó, thời gian đặc quánh xác định theo tiêu chuẩn API ở 85°C và 35,6 MPa đạt khoảng 7 giờ 15 phút, đáp ứng tốt yêu cầu thực tế: đủ dài để thực hiện bơm ép an toàn nhưng không gây đóng rắn sớm. Độ bền nén cho thấy sau 24 giờ, nhựa mới pha đạt 38,12 MPa, cao hơn nhiều so với mẫu có 10% dung dịch khoan (5,84 MPa). Sau 48 giờ, cả hai hệ đều tăng cường độ, nhưng mẫu pha dung dịch khoan vẫn thấp hơn rõ rệt, chứng tỏ dung dịch khoan làm suy giảm đáng kể khả năng chịu lực của vật liệu. Chất xúc tiến 5% thể hiện vai trò tích cực trong việc rút ngắn thời gian đặc quánh, đồng thời tham gia trực tiếp vào cơ chế phản ứng đóng rắn nhờ các nhóm amin hoạt động, tạo điều kiện cho mạng lưới polymer hình thành nhanh và đồng đều hơn so với khi chỉ dùng chất đóng rắn ban đầu. Như vậy, tỷ lệ 40/100 được xác định là phù hợp nhất cho việc phối trộn giữa nhựa epoxy và chất đóng rắn, giúp tạo ra hệ vật liệu vừa có tính chất cơ – nhiệt cao, vừa đảm bảo khả năng thi công thuận lợi. Kết quả này mở ra triển vọng ứng dụng hiệu quả trong công tác trám giếng dầu khí.

Tài liệu tham khảo

1. D.M. Brett, Univ. Tasmania, (1985).
2. K.D. Weaver, D.A. Bruce, ASCE Press, (2007). <https://doi.org/10.1061/9780784407646>
3. M. Bidasaria, Univ. Missouri–Rolla, (2004).
4. J. Lagerlund, KTH Royal Inst. Technol., (2009).
5. D. Alkaya, B. Yeşil, Sci. Res. Essays, 6 (2011) 4039–4047. <https://doi.org/10.5897/SRE11.103>
6. M. Atif, R. Bongiovanni, J. Yang, Polym. Rev., 55 (2015) 90–106. <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.963236>
7. A.N. Rajaram, C.G. Boay, N. Srikan, Compos. Commun., 22 (2020) 100507. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100507>
8. J. Xie, K. Huang, Q. Yao, C. Ding, Adv. Mater. Res., 580 (2012) 564–568. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.580.564>
9. R.C. Cole, SPE Int. Symp. Oilfield Geotherm. Chem., (1979). <https://doi.org/10.2118/7874-MS>
10. C. Huang, Z. Ge, B.B. Zhao, Z. Wang, Y.J. Luo, J. Chem. Eng. Chin. Univ., 31 (2017) 197–204. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-9015.2017.01.028>