

# ẢNH HƯỞNG CỦA THÔNG SỐ CHẾ TẠO VÀ CHẤT XÚC TÁC ĐẾN MỨC ĐỘ HÌNH THÀNH LIÊN KẾT NGANG TRONG VẬT LIỆU CÁCH ĐIỆN XLPE CHO CÁP NGẦM HVDC

## INFLUENCE OF FABRICATION PARAMETER AND ADDITIF ON THE CROSSLINKING DEGREES FOR XLPE HVDC CABLE INSULATION

**Trần Anh Tùng**

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 07/04/2020, Ngày chấp nhận đăng: 14/07/2020, Phản biện: TS. Nguyễn Hữu Kiên

### **Tóm tắt:**

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu lưu biến học để xác định sự ảnh hưởng của quá trình chế tạo mẫu và thành phần các chất độn đối với mức độ hình thành liên kết ngang trong vật liệu XLPE sử dụng trong cách điện của cáp ngầm cao thế HVDC. Bốn hỗn hợp vật liệu khác nhau về hàm lượng và loại peroxyde cũng như phần tử nano được nghiên cứu. Quá trình chế tạo các mẫu được thực hiện ở các nhiệt độ và thời gian khác nhau, lần lượt là 160°C trong 90 phút, 180°C trong 30 phút và 200°C trong 10 phút. Các kết quả đo lường lưu biến học sau đó đã chỉ ra thông số chế tạo tối ưu cho từng mẫu vật liệu nhằm đạt được mức độ hình thành liên kết ngang cao nhất.

### **Từ khóa:**

XLPE, peroxyde, lưu biến học, liên kết ngang, HVDC.

### **Abstract:**

This paper introduces the results of rheology investigation to determine the influence of the process of samples production and the nature of additifs on the cross-linking degree in XLPE materials used in the insulation of HVDC high voltage underground cables. Four different material mixtures of peroxyde and nanoparticles content were investigated. Manufacturing of the samples was carried out at different temperatures and times, 160°C for 90 minutes, 180°C for 30 minutes and 200°C for 10 minutes respectively. The rheology measurement results then indicate the optimum fabrication parameters for each material mixture to achieve the highest level of cross-linking.

### **Keywords:**

XLPE, peroxyde, rheology, cross-linking, HVDC.

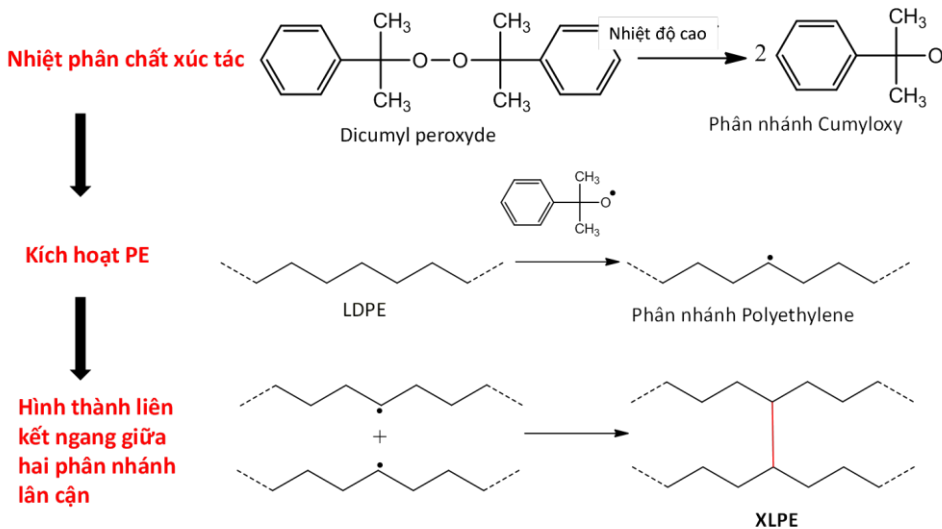
## **1. MỞ ĐẦU**

Cáp ngầm High Voltage Direct Current (HVDC) đóng vai trò quan trọng trong các lưới điện truyền tải tương lai để truyền tải công suất lớn trên một khoảng

cách xa. Dạng cáp DC này có ưu điểm vượt trội so với cáp AC khi không bị giới hạn khoảng cách truyền tải do dòng điện điện dung như đối với dòng điện xoay chiều. Các loại cáp HVDC sử dụng cách

điện giấy tẩm dầu đã chứng tỏ sự tin cậy trong nhiều năm. Tuy nhiên, để giảm chi phí và mức độ phức tạp khi bảo dưỡng cũng như giá thành, các loại cáp HVDC sử dụng cách điện polymer đang được phát triển rộng rãi [1]. Đối với cách điện polymer cho cáp HVDC sử dụng polyethylene liên kết ngang XLPE, mức độ tạo cầu liên kết ngang để đảm bảo tính chất điện và độ ổn định cơ học cao là một

tính chất quan trọng cần kiểm soát [2]. Tính chất này lại bị ảnh hưởng nhiều bởi nhiệt độ và thời gian chế tạo mẫu. Từ đó, nghiên cứu này tập trung làm rõ cơ chế hình thành liên kết ngang trong XLPE ở các nhiệt độ và thời gian chế tạo mẫu khác nhau. Mức độ hình thành liên kết ngang sau đó được xác định bằng phép đo lưu biến học.



Hình 1. Cơ chế phản ứng tạo liên kết ngang của polyethylene dùng chất xúc tác dicumyl peroxyde

## 2. CƠ CHẾ HÌNH THÀNH LIÊN KẾT NGANG TRONG VẬT LIỆU XLPE

Để đảm bảo tính ổn định cơ học khi cáp vận hành ở nhiệt độ cao, polyethylene mật độ thấp (LDPE) dùng trong cách điện cáp cao thế thường được tạo phản ứng hình thành liên kết ngang giữa các chuỗi đa phân tử bằng chất xúc tác dicumyl peroxyde được nhiệt phân ở nhiệt độ cao. Phản ứng này được minh họa trên hình 1. Quá trình nhiệt phân dicumyl peroxyde có ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành các liên kết ngang của chuỗi polyethylene.

Việc tối ưu các thông số gồm thời gian và nhiệt độ nhiệt phân sao cho đạt được tỷ lệ hình thành liên kết ngang cao là yêu cầu quan trọng nhằm đảm bảo tính ổn định cơ học cho XLPE.

## 3. VẬT LIỆU VÀ QUÁ TRÌNH CHẾ TẠO MẪU

### 3.1. Vật liệu

Bốn mẫu Polyethylene dưới dạng hạt được tích hợp sẵn chất xúc tác peroxide tạo liên kết ngang và các phân tử nano với các hàm lượng khác nhau được sử dụng trong nghiên cứu này.

**Bảng 1. Thành phần các hỗn hợp vật liệu được nghiên cứu**

	LDPE	Peroxide	Carbon đen	Chỉ số dòng chảy
Hỗn hợp A	98,20%	1,8% dicumyl peroxide	0%	0,8
Hỗn hợp B	97,30%	1,9% dicumyl peroxide	0,8%	3
Hỗn hợp C	98,35%	1,65% dicumyl peroxide	0%	2
Hỗn hợp D	97,40%	1,8% terbutylcumyle peroxyde	0,8% khác bản chất với carbon đen mẫu B	0,8

Các mẫu vật liệu lần lượt được gọi là A, B, C và D. Trong đó, mẫu B và D được trộn thêm một tỷ lệ nhất định carbon đen. Carbon đen được pha trộn vào các mẫu B và D nhằm mục đích hạn chế sự tạo thành và tích lũy điện tích không gian trong vật liệu cách điện thành phẩm [3]. Chất xúc tác peroxyde trong mẫu D là loại terbutylcumyle peroxyde có bản chất khác so với các mẫu còn lại sử dụng dicumyl peroxyde.

Hàm lượng phần trăm các thành phần của bốn loại vật liệu được giới thiệu trong bảng 1.

### 3.2. Chế tạo mẫu

Để chế tạo các mẫu phẳng có độ dày 0,7 mm, các hạt vật liệu được nghiền, đun nóng chảy và ép khuôn. Nhiệt độ tạo liên kết ngang là 160°C, 180°C và 200°C, từ đó cho phép tạo được ba loại mẫu khác nhau đối với mỗi hỗn hợp vật liệu (được gắn nhãn là AX160, AX180 và AX200 đối với hỗn hợp A, cách ký hiệu tương tự cũng được đặt cho các mẫu của các hỗn hợp còn lại). Thời gian thực hiện các phản ứng tạo liên kết ngang tại các nhiệt độ 160°C, 180°C, 200°C lần lượt là 90, 30 và 10 phút.

### 3.3. Đo lường lưu biến học

Mức độ hình thành liên kết ngang của các mẫu vật liệu có thể được đo lường bằng các phép đo lưu biến học.



**Hình 2. Nguyên lý áp dụng lực xoắn điều hòa lên mẫu polymer trong phép đo lưu biến học**

Nguyên lý của phép đo lưu biến học được sử dụng trong nghiên cứu này là áp dụng một lực xoắn điều hòa có tần số góc  $\omega$  tác dụng lên một mẫu vật liệu polymer dạng chữ nhật như minh họa trên hình 2.

Tỷ số giữa lực xoắn điều hòa và ứng suất xoắn tương ứng trên vật liệu xác định thông số phức  $G^*$  như biểu thức dưới đây:

$$G^* = \frac{\sigma_0 e^{j\omega t}}{\gamma_0 e^{j(\omega t - \delta)}} = G_0 e^{j\delta} \quad (1)$$

$$= G' + jG''$$

Trong đó:

$\sigma^* = \sigma_0 e^{j\omega t}$ : lực xoắn điều hòa ở tần số góc  $\omega$ ;

$\gamma^* = \gamma_0 e^{j(\omega t - \delta)}$ : ứng suất xoắn tương ứng trên vật liệu;

$\delta$ : góc lệch pha giữa lực xoắn và ứng suất xoắn;

$G'$ : môđun đàn hồi phản ánh tính chất đàn hồi của vật liệu khi biến dạng (Pa);

$G''$ : môđun nhớt phản ánh tính chảy của vật liệu khi biến dạng (Pa);

Môđun đàn hồi  $G'$  cho phép đánh giá mức độ hình thành liên kết ngang trong các mẫu vật liệu XLPE nhờ vào luật đàn hồi cao su [4-5]:

$$G' = \frac{\rho RT}{M_c} \quad (2)$$

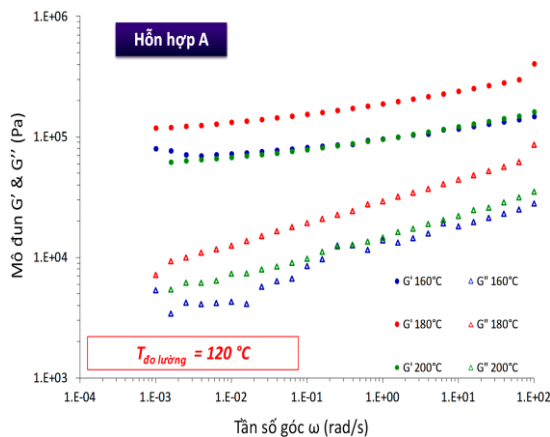
Trong đó:

$R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;

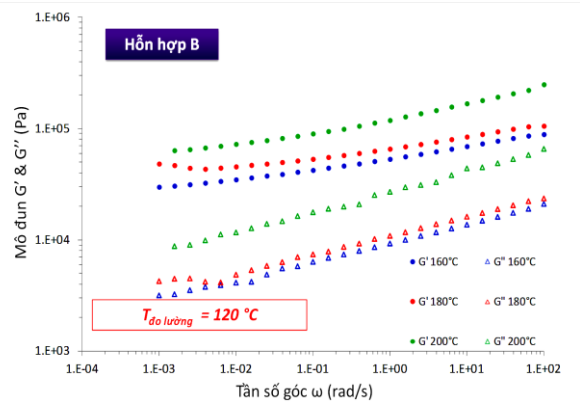
$\rho$ : khối lượng riêng của vật liệu ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$T$ : nhiệt độ (K);

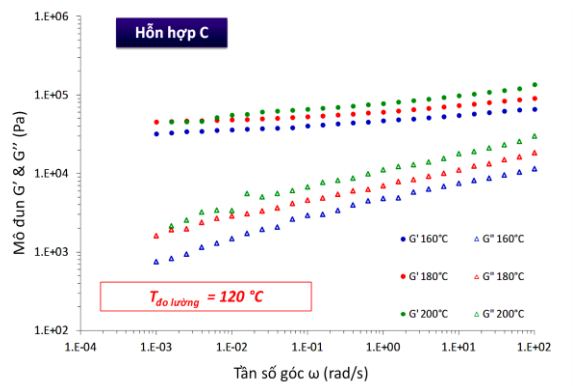
$M_c$ : khối lượng phân tử giữa các điểm hình thành liên kết ngang (kg).



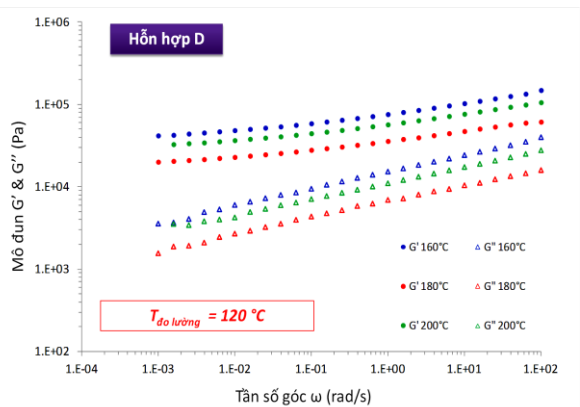
Hình 3. Môđun đàn hồi và môđun nhớt trong miền tần số của các mẫu AX



Hình 4. Môđun đàn hồi và môđun nhớt trong miền tần số của các mẫu BX



Hình 5. Môđun đàn hồi và môđun nhớt trong miền tần số của các mẫu CX

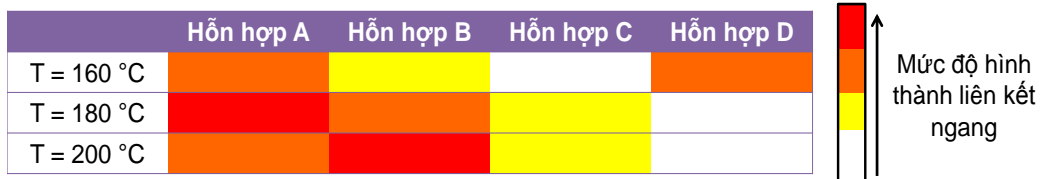


Hình 6. Môđun đàn hồi và môđun nhớt trong miền tần số của các mẫu DX

Như vậy khi  $M_c$  càng nhỏ tương ứng mật độ liên kết ngang càng nhiều thì giá trị của môđun  $G'$  càng lớn.

Các mẫu vật liệu trong nghiên cứu này được thực hiện phép đo lưu biến học ở nhiệt độ 120°C (nhiệt độ đo lường này

được chọn khi vật liệu ở miền cao su), trong miền tần số từ  $10^{-3}$  Hz đến  $10^2$  Hz.



Hình 7. Mức độ hình thành liên kết ngang ở các nhiệt độ phản ứng khác nhau của các hỗn hợp vật liệu

### 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Kết quả các phép đo lưu biến học đối với các mẫu vật liệu của các hỗn hợp A, B, C, D được giới thiệu trên hình 3, hình 4, hình 5 và hình 6.

Trị số của môđun đàn hồi  $G'$  trong miền tần số của các phép đo cho thấy mức độ hình thành liên kết ngang đối với hỗn hợp A đạt được cao nhất khi phản ứng hình thành liên kết ngang xảy ra ở 180°C (mẫu AX180). Mức độ hình thành liên kết ngang đối với các mẫu AX160 và AX200 là gần như nhau.

Bảng tổng hợp trên hình 7 chỉ ra mức độ hình thành liên kết ngang ở các hỗn hợp vật liệu còn lại.

Đối với hỗn hợp B, mật độ hình thành liên kết ngang cao nhất xảy ra ở nhiệt độ phản ứng 200°C. Mẫu C cũng cho mức độ hình thành liên kết ngang cao nhất ở 200°C (mặc dù ở 180°C cũng cho kết quả tương tự).

Đối với mẫu D, mức độ hình thành liên kết ngang cao nhất lại đạt được ở nhiệt độ phản ứng thấp nhất 160°C (mẫu DX160).

Điều này có thể đến từ sự phức tạp trong cơ chế phản ứng khi trong hỗn hợp D có sự có mặt của loại peroxyde và cacbon đen có bản chất khác so với các hỗn hợp vật liệu khác. Mật khác, chỉ số dòng chảy thấp của hỗn hợp vật liệu D cũng như vật liệu A có thể khiến cho mức độ hình thành liên kết ngang cao nhất đạt được ở các nhiệt độ thấp hơn.

### 4. KẾT LUẬN

Các hỗn hợp vật liệu polymer trên nền tảng polyethylene mật độ thấp được trộn với các phụ gia peroxyde và cacbon đen ở các hàm lượng khác nhau. Các hỗn hợp này được thực hiện phản ứng tạo liên kết ngang ở các nhiệt độ lần lượt là 160°C, 180°C và 200°C. Môđun đàn hồi từ các kết quả đo lường lưu biến học cho phép chỉ ra rằng mật độ tạo liên kết ngang không đồng nhất tại các nhiệt độ khác nhau. Mật độ liên kết ngang cao nhất trong các mẫu của hỗn hợp B và C đạt được ở nhiệt độ cao nhất 200°C trong khi đó mức độ hình thành liên kết ngang trong các mẫu của hỗn hợp A và D đạt được ở các nhiệt độ thấp hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.L. Hanley, R.P. Burford, R.J. Fleming and K.W. Barber, *A General Review of Polymeric Insulation for Use in HVDC Cables*, *El. Ins. Mag.* 19 (1), pp. 13-24, 2003.
- [2] Y. Li, L. Zhong, L. Cao, H. Ren, W. Zhao and J. Gao, *DC Breakdown Characteristics of LLDPE-based XLPE with Different Crosslinking Degrees*, *2018 Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, Perth, WA, 2018, pp. 1-4.
- [3] T. Tran Anh et al., *Investigation of Space-charge Build-up in Materials for HVDC Cable Insulation in Relationship with Manufacturing, Morphology and Cross-linking by-Products*, *IEEE International Conference on Solid Dielectrics*, Bologna, Italy, June 30 – July 4, 2013.
- [4] A. Hajighasem, K. Kabiri, *Cationic highly alcohol-swellable gels: synthesis and characterization*, *Journal of Polymer Research*, 2013, 20, 218.
- [5] Jiang H, Su W, Mather PT, Bunning TJ, *Rheology of highly swollen chitosan/polyacrylate hydrogels*, *Polymer*, 1999, 40, 4593.

### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Anh Tùng nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Đại học Toulouse III năm 2012. Hiện nay tác giả là Trưởng Bộ môn Mạng và Hệ thống điện, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: tối ưu khả năng tải của cáp ngầm cao thế, lưới điện thông minh, vật liệu cách điện nanocomposites.

