# NGHIÊN CỨU ÉP ĐÁY BẢO VỆ NHIỆT CỦA ĐỘNG CƠ VŨ KHÍ PHÁ VẬT CẢN TỪ VẬT LIỆU COMPOSITE CỐT VẢI CACBON/NỀN NHỰA PHENOLIC

Đinh Văn Hiến[1*], Trần Ngọc Thanh[1], Hồ Ngọc Minh[2],
Nguyễn Tuấn Anh[1], Trần Xuân Tiến[1]

***Tóm tắt.*** *Động cơ vũ khí phá vật cản làm việc trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao của khí thuốc cháy, trong đó, đáy động cơ (nơi lắp với loa phụt) làm việc khắc nghiệt nhất, cần được bảo vệ nhiệt. Vật liệu composite cốt vải cacbon, nền nhựa phenolic có ưu việt là có tính chịu nhiệt và hàm lượng cốc hóa cao, cũng như khả năng giữ cấu hình lớp cốc để chịu nhiệt và xói mòn. Để chế tạo sản phẩm từ vật liệu này cần dùng công nghệ ép tạo hình nóng. Từ yêu cầu thiết kế đáy bảo vệ nhiệt động cơ vũ khí phá vật cản, nhóm tác giả xác định mục tiêu là tìm cơ sở công nghệ và thực nghiệm xác định chế độ công nghệ hợp lý nhằm chế tạo sản phẩm. Trên cơ sở phân tích đặc tính nhiệt động của nhựa phenolic/đóng rắn hexamine, đã tiến hành một dãy các thực nghiệm để ổn định công nghệ. Sản phẩm được chế tạo và thử nghiệm đạt yêu cầu làm việc.*

**Từ khóa:** Bảo vệ nhiệt; Ép nóng composite; Nhựa phenolic; Động cơ tên lửa.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vũ khí phá vật cản là phối bộ vũ khí gồm ba thành phần chính là bệ phóng, chuỗi nổ-neo và động cơ tên lửa kéo chuỗi nổ. Theo thiết kế, thời gian làm việc của động cơ tên lửa trên 4 giây, áp suất trung bình của khí thuốc cháy trong buồng đốt động cơ khoảng 7 MPa (70 atm) và nhiệt độ cháy của thuốc phóng dự kiến khoảng trên 2000 $^0$C. Trong điều kiện làm việc khắc nghiệt như vậy, phần vỏ và đáy của động cơ tên lửa cần được bảo vệ nhiệt.

Phân tích các phương pháp và vật liệu bảo vệ nhiệt, nhận thấy, đối với động cơ tên lửa nhiên liệu rắn có thời gian cháy không quá dài, một phương pháp hiệu quả để bảo vệ nhiệt cho đáy động cơ là sử dụng vật liệu composite nền nhựa phenolic (nhựa phenol-formaldehyde)/cốt chịu nhiệt như sợi/vải cacbon hoặc thủy tinh. Trong đó, vật liệu composite cốt vải cacbon/nền nhựa phenolic là vật liệu bảo vệ nhiệt hiệu quả nhờ khả năng chịu nhiệt của vải cacbon và tỷ lệ cốc hóa cao, cũng như khả năng giữ cấu hình lớp cốc hóa của nhựa phenolic để chịu nhiệt và xói mòn. Để chế tạo các vật liệu này cần dùng công nghệ ép tạo hình nóng.

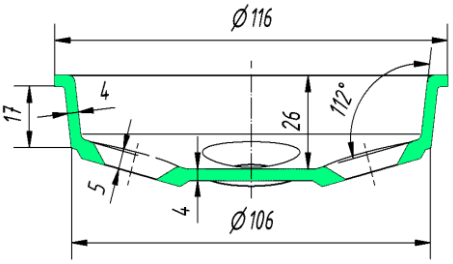
Nhựa phenolic được chia thành hai loại: (1)- Novolac là nhựa nhiệt dẻo (NPF), có thời gian sống vô hạn; và (2)- Resol, có thời gian sống ngắn, khi nung đến 150 $^0$C sẽ chuyển thành nhựa nhiệt rắn resite (còn gọi là bakelite). Nhựa NPF phù hợp cho làm vật liệu composite bằng công nghệ ép nóng. Chất đóng rắn nhựa NPF thường là hexamethylenetetramine (HMTA). Tỷ lệ sử dụng HMTA để đóng rắn nhựa NPF khoảng 10-15% [1], nhiệt độ đóng rắn khoảng 130-180 $^0$C [2]. Do sản phẩm phản ứng đóng rắn hệ nhựa NPF/HMTA luôn là $NH_3$ và $H_2O$, nên sản phẩm chế tạo từ hệ nhựa này cần được ép nóng dưới điều kiện áp lực cao để tránh rỗ xốp do khí phản ứng gây ra [2]. Áp lực ép vật liệu composite từ hệ nhựa NPF/HMTA được gia cường sợi được khuyến cáo khoảng 14-35 MPa [2]. Mặc dù vậy, ảnh hưởng của áp lực ép đến tính chất cơ-lý-nhiệt của vật liệu này không rõ ràng.

Từ phân tích trên và yêu cầu thiết kế đáy bảo vệ nhiệt động cơ vũ khí phá vật cản (hình 1), nghiên cứu này trọng tâm giải quyết bài toán công nghệ ép nóng sản phẩm từ

vật liệu composite cốt vải cacbon/NPF.

Ngoài việc đảm bảo hình dáng kích thước, cần đảm bảo chất lượng theo tiêu chí không rỗ xốp và tính chất cơ học tốt. Các tính chất nhiệt cũng được khảo sát để đánh giá khả năng bảo vệ nhiệt của vật liệu composite chế tạo.

Để làm việc đó, cần phân đoạn nghiên cứu, từ ép mẫu dạng tấm để đánh giá chất lượng và các tính chất cơ-lý-nhiệt, tiếp sau, chế tạo sản phẩm và thử nghiệm.




***Hình 1.*** *Bản vẽ sơ bộ đáy bảo vệ nhiệt động cơ vũ khí phá vật cản.*

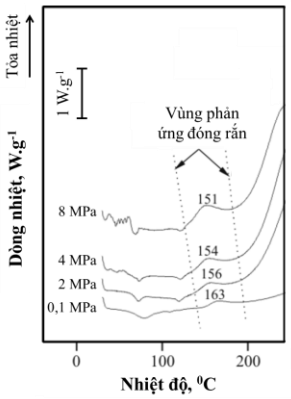
## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Chuẩn bị nguyên liệu

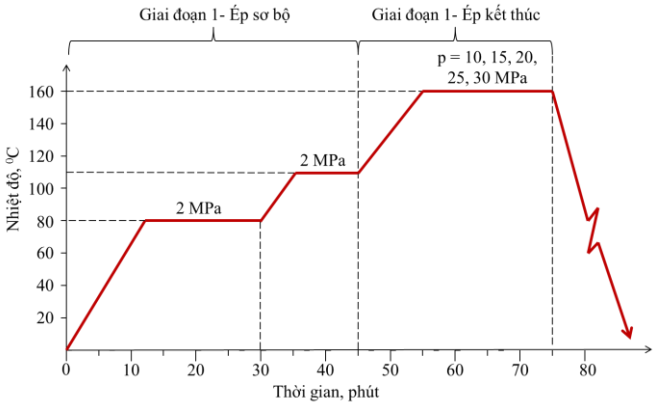
- ***Chuẩn bị và pha chế nhựa:*** Nhựa NPF được tổng hợp tại Viện Hóa học-Vật liệu/Viện KHCN quân sự. Sau khi tổng hợp, nhựa được sấy trong chân không để loại bỏ nước và phenol dư. Hàm lượng phenol dư trong nhựa NPF cần nhỏ hơn 2% [3]. Tiếp sau, nhựa được hòa tan trong dung môi ethanol tuyệt đối (tỷ lệ 1:1) cùng với chất đóng rắn HMTA (14% khối lượng nhựa NPF) để tạo dung dịch lỏng nhằm phục vụ cho việc tẩm nhựa lên vải cacbon.

- ***Chuẩn bị vải và tẩm nhựa:*** Vải cacbon dày 0,2 mm, mật độ khối lượng bề mặt 200 g/m$^2$, được cắt theo yêu cầu, sau đó, được tẩm nhựa với tỷ lệ nhựa/vải khoảng 1,8:1. Quá trình tẩm nhựa lên vải cần đảm bảo cho vải thấm đều nhựa và mật độ bề mặt tương đối đều. Bán thành phẩm vải sau khi đã tẩm nhựa (gọi tắt là prepreg) được để khô trước khi ép.

### 2.2. Phân tích xác định chế độ nhiệt khi ép




***Hình 2.*** *Biểu đồ DSC mẫu nhựa NPF/HMTA [4].*




***Hình 3.*** *Sơ đồ công nghệ ép đáy bảo vệ nhiệt.*

Hình 2 trình bày biểu đồ DSC của hệ nhựa NPF/HMTA, nhận thấy, nhiệt độ thủy tinh hóa xuất hiện ở khoảng nhiệt độ từ 70-80 $^0$C và nhiệt độ đóng rắn trên 110 $^0$C, đỉnh nhiệt của phản ứng đóng rắn khoảng 150-160 $^0$C. Dựa trên đặc tính nhiệt động học của hệ nhựa NPF/HMTA nêu trên, sơ đồ công nghệ ép bảo vệ nhiệt đáy được thiết kế như hình 3, ở đó, quá trình ép gồm 2 giai đoạn:

- Giai đoạn 1- Ép sơ bộ, có tác dụng biến mềm nhựa để tạo điều kiện cho nhựa điền đầy khuôn và chuẩn bị cho giai đoạn ép kết thúc;

- Giai đoạn 2- Ép kết thúc ở 160 $^0$C với các áp lực ép khác nhau và giữ nhiệt trong 30 phút nhằm đảm bảo cho nhựa đủ thời gian đóng rắn.

### 2.3. Thực nghiệm ép và xác định các tính chất cơ-lý-nhiệt

*a. Thực nghiệm ép mẫu tấm*

Mẫu tấm vật liệu composite cốt vải cacbon/nền nhựa NPF (gọi tắt là vật liệu C-NPF) được thiết kế có kích thước 60x150 mm. Mẫu được ép từ 7 tấm prepreg. Quá trình ép được thực hiện trên máy ép có gia nhiệt, lực ép đến 30 tấn, nhiệt độ đến 230 $^0$C tại Viện Tên lửa/Viện KHCN quân sự.

Để xem xét ảnh hưởng của áp lực ép đến tính chất cơ-lý-nhiệt, tiến hành ép mẫu ở các áp lực từ 10 MPa đến 30 MPa.

*b. Các tính chất cơ-lý-nhiệt nghiên cứu và phương pháp xác định*

Dựa trên các tiêu chí đánh giá vật liệu polyme được gia cường sợi dùng làm bảo vệ nhiệt, trong nghiên cứu này, một số chỉ tiêu cơ-lý-nhiệt của mẫu vật liệu C-NPF được khảo sát gồm:

- Khối lượng riêng thể tích ($\rho_v$): Khối lượng riêng thể tích được xác định bằng tỷ số giữa khối lượng/thể tích mẫu ép.

- Tính chất cơ học: Các tính chất cơ học gồm độ bền uốn ($\sigma_{bu}$) và mô đun uốn ($E_u$) được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D790-71.

- Tính chất nhiệt: Các tính chất nhiệt bao gồm hệ số dẫn nhiệt (k) và nhiệt dung riêng đẳng áp ($C_p$) được xác định theo tiêu chuẩn ASTM D7984-16.

Các chỉ tiêu cơ-lý-nhiệt nêu trên được đo tại Trung tâm đo lường/Viện Công nghệ/Tổng cục Công nghiệp quốc phòng.

*c. Thực nghiệm ép đáy bảo vệ nhiệt*

Từ kết quả ép mẫu tấm, chọn các điều kiện đầu phù hợp để chế tạo đáy bảo vệ nhiệt của động cơ vũ khí phá vật cản. Hình dạng và kích thước lòng khuôn đảm bảo đúng theo hình dạng kích thước sản phẩm. Để tạo điều kiện cho khuôn thoát khí tốt, khe hở giữa chày và cối khoảng 0,2-0,3 mm.

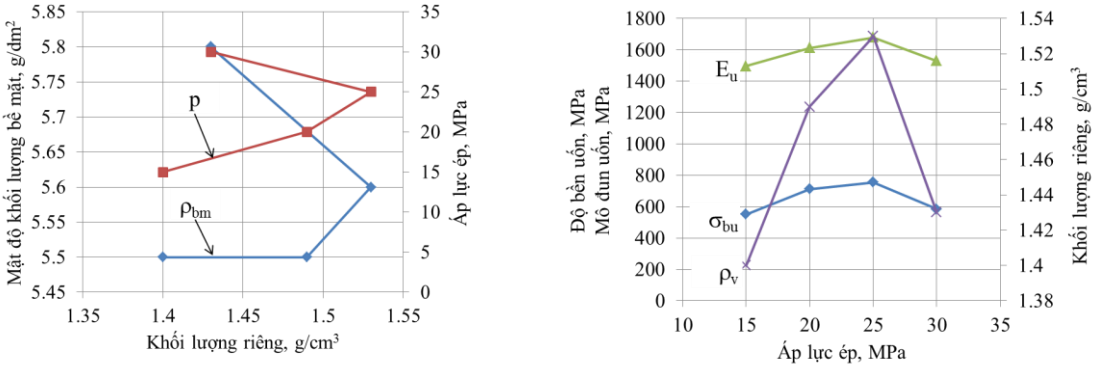
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kết quả

***Bảng 1.*** *Tính chất cơ-lý-nhiệt của mẫu tấm vật liệu C-NPF.*

| Ký hiệu mẫu | Thông số ban đầu | | Tính chất cơ-lý | | | Tính chất nhiệt | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\rho_{bm}$, g/dm$^2$ | p, MPa | $\rho_v$, g/cm$^3$ | $\sigma_{bu}$, MPa | $E_u$, MPa | k, W/(m.K) | $C_p$, J/(kg.K) |
| S1 | 5,6 | 10 | *Không khảo sát* | | | | |
| S2 | 5,5 | 15 | 1,40 | 550,84 | 1496 | 0,525±0,003 | 776,6 |
| S3 | 5,5 | 20 | 1,49 | 711,91 | 1612 | 0,526±0,002 | |
| S4 | 5,6 | 25 | 1,53 | 754,62 | 1679 | 0,504±0,002 | |
| S5 | 5,8 | 30 | 1,43 | 583,68 | 1530 | 0,516±0,003 | |
| Trung bình | - | - | 1,46 | 650,26 | 1579 | 0,518 | 776,6 |
| *Ghi chú: $\rho_{bm}$ là mật độ khối lượng bề mặt prepreg.* | | | | | | | |

Các tính chất cơ-lý-nhiệt của mẫu vật liệu C-NPF trình bày trong bảng 1. Nhận thấy, khi ép mẫu ở áp lực 10 MPa (mẫu S1), mẫu có hiện tượng phồng rộp và bị tách lớp bên trong, nên các tính chất cơ-lý-nhiệt không được khảo sát. Các mẫu ép ở áp lực cao (≥ 15 MPa) đều đặc chắc, đủ điều kiện để khảo sát các tính chất.




a, b,

***Hình 4.*** *Phụ thuộc của chỉ tiêu cơ-lý của vật liệu ép vào thông số đầu vào:*

*a- $\rho_v$ vào p và $\rho_{bm}$; b- $\sigma_{bu}$ và $E_u$ vào $\rho_v$ và p.*

Hình 4 trình bày biểu đồ quan hệ giữa các chỉ tiêu cơ-lý với các thông số ban đầu là áp lực ép và mật độ khối lượng bề mặt prepreg. Từ hình 4a cho thấy, áp lực ép và mật độ khối lượng bề mặt prepreg có ảnh hưởng tương quan đến khối lượng riêng của mẫu. Với các mẫu có mật độ khối lượng gần tương tự nhau, áp lực ép tăng làm tăng khối lượng riêng, nhưng khi mật độ khối lượng bề mặt prepreg lớn hơn, tăng áp lực ép, khối lượng riêng của mẫu lại giảm, chứng tỏ, mật độ khối lượng bề mặt prepreg hay tỷ lệ nhựa/vải ảnh hưởng đáng kể đến khối lượng riêng mẫu. Từ hình 4b nhận thấy, áp lực ép tăng từ 15 MPa đến 25 MPa làm tăng các chỉ tiêu cơ học của vật liệu ép, nhưng khi tăng áp lực ép đến 30 MPa (mẫu S5), các chỉ tiêu cơ học đều giảm. Nguyên nhân có thể do, mặc dù áp lực ép tăng, nhưng do mật độ khối lượng bề mặt prepreg của mẫu S5 lại lớn, nên làm cho khối lượng riêng của mẫu giảm, chứng tỏ tỷ lệ nhựa/vải trong sản phẩm ép cao, nên làm giảm tính chất cơ học. Điều này có thể thấy qua quan hệ tỷ lệ thuận giữa các chỉ tiêu cơ tính khảo sát với khối lượng riêng mẫu ở hình 4b.

Kết quả xác định các tính chất nhiệt ở bảng 1 cho thấy, nhiệt dung riêng của vật liệu composite này không thay đổi, đạt 776,6 J/(kg.K), trong khi, hệ số dẫn nhiệt thay đổi trong phạm vi hẹp và đạt trung bình khoảng 0,518 W/(m.K). Nhưng dễ nhận thấy, mẫu có khối lượng riêng cao nhất, hệ số dẫn nhiệt của vật liệu composite là thấp nhất. Thêm nữa, hệ số dẫn nhiệt của vật liệu C-NPF rất thấp, chỉ bằng khoảng 1% hệ số dẫn nhiệt của thép thông thường (~50 W/(m.K)), chứng tỏ khả năng cách nhiệt của vật liệu tốt. Bên cạnh đó, nhiệt dung riêng của vật liệu ép tương đối cao, xấp xỉ 1,7 lần nhiệt dung riêng của thép thông thường (~460 J/(kg.K)), chứng tỏ khả năng bảo vệ nhiệt của vật liệu C-NPF là tốt hơn thép.

### 3.2. Kết quả ép đáy bảo vệ nhiệt vũ khí ép FMV-T2 và thử nghiệm

*a. Ép đáy bảo vệ nhiệt*

Từ bản vẽ đáy bảo vệ nhiệt, diện tích hình chiếu sản phẩm trên mặt phẳng vuông góc với trục tâm khoảng 10000 $mm^2$. Căn cứ vào lực của thiết bị, chọn áp lực ép trên sản

phẩm đạt trung bình khoảng 25 MPa. Prepreg dùng ép các đáy bảo vệ nhiệt có mật độ khối lượng bề mặt khoảng 5,5-6,0 g/dm$^2$. Từ chiều dày sản phẩm, chọn số lớp prepreg cho ép đáy bảo vệ nhiệt là 12. Hình ảnh sản phẩm đạt yêu cầu như hình 5.

Qua việc ép sản phẩm (20 sản phẩm) đã gặp một số dạng và nguyên nhân gây ra phế phẩm, đã từng bước khắc phục và ổn định công nghệ. Một số nguyên nhân gây ra phế phẩm điển hình và giải pháp khắc phục được tổng kết như sau:

(1). Thời gian giữ nhiệt khi ép kết thúc thấp (≤ 15 phút): Trường hợp này, sản phẩm dễ bị móp méo khi tháo khuôn. Thời gian hợp lý là trên 30 phút.

(2). Áp lực ép kết thúc thấp (≤ 10 MPa): Trường hợp này, sản phẩm sẽ đóng rắn không đều, có hiện tượng xốp bên trong, bề mặt có hiện tượng các cục nhựa đóng rắn cục bộ. Áp lực ép ở giai đoạn này nên ≥ 15 MPa.

(3). Nhựa dư thừa phenol: Do điều kiện tổng hợp nhựa NPF từ phenol và formaldehyde với tỷ lệ khoảng 1:0,8, nên sau tổng hợp, nếu việc loại bỏ phenol dư không đảm bảo, nhựa sẽ thừa phenol. Trường hợp này, bề mặt sản phẩm sẽ có lớp mỏng màu vàng bao bọc bên ngoài sản phẩm và sau khi tháo khuôn sẽ thấy các vết nứt ở lớp màng này. Để khắc phục, công đoạn sấy loại bỏ phenol cần thực hiện kỹ lưỡng, đảm bảo hàm lượng phenol dư ≤ 2%.

(4). Mật độ khối lượng bề mặt prepreg thấp (≤ 5 g/dm$^2$): Trường hợp này, sản phẩm sẽ không đủ nhựa để điền đầy khuôn. Để khắc phục, khi làm prepreg cần đảm bảo mật độ khối lượng bề mặt khoảng 5,5-6,0 g/dm$^2$.



***Hình 5.*** *Đáy bảo vệ nhiệt đạt yêu cầu.*



***Hình 6.*** *Đáy bảo vệ nhiệt sau thử nghiệm thực trên động cơ.*

*b. Thử nghiệm sản phẩm*

Theo nhiệm vụ nghiên cứu và sản phẩm chế tạo, đã tiến hành đưa đáy bảo vệ nhiệt vào thử nghiệm trên động cơ thực. Kết quả cho thấy, đáy bảo vệ nhiệt đảm bảo được chức năng bảo vệ nhiệt, không gây sai hỏng cho đáy động cơ do ảnh hưởng của nhiệt cháy thuốc phóng. Hình dạng đáy bảo vệ nhiệt sau thử nghiệm vẫn giữ nguyên trạng được cấu hình (hình 6), khẳng định đáy bảo vệ nhiệt làm từ vật liệu composite cốt vải cacbon/nền nhựa phenolic đạt yêu cầu.

## 4. KẾT LUẬN

Đã nghiên cứu làm chủ được công nghệ chế tạo sản phẩm đáy bảo vệ nhiệt cho động cơ vũ khí phá vật cản từ vật liệu composite cốt vải cacbon/nền nhựa phenolic đảm bảo được chức năng làm việc. Một số điểm rút ra như sau:

- Nhựa nền phenolic cần được xử lý để loại bỏ phenol dư ở mức dưới 2%;

- Nhựa tẩm lên vải cacbon đảm bảo đều với mật độ bề mặt từ 5,5-6,0 g/dm$^2$;

- Sản phẩm ép từ vật liệu composite đã nêu cần có công đoạn ép định hình sơ bộ trong phạm vi nhiệt độ từ 80-110 $^0$C và đóng rắn dưới áp lực trên 15 MPa ở nhiệt độ 160 $^0$C/thời gian 30 phút.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. C. Louis, *"Chemical Specialities: Domestic and Industrial"*, George Godwin, Vol 2 (1979).
[2]. B.M. Mandal, *"Fundamentals of Polymerization"*, World Scientific Publishing Company (2012).
[3]. A. Knop and et al., *"Comprehensive polymer science and supplements- Vol 5: Step Polymerization"*, Elsevier Ltd. (1996).
[4]. R.C. Korosec, *"High pressure DSC of phenolformaldehyde moulding Compounds"*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol 95 (2009), pp. 235–240.

## ABSTRACT

RESEARCH ON COMPRESSING THE INSULATOR OF THE ROCKET MOTOR-BOTTOM OF THE BARRIERS CLEARING WEAPON FROM CARBON FABRIC REINFORCED PHENOLIC COMPOSITE MATERIAL

*The rocket motor of the barriers clearing weapon operates in conditions of high temperature and pressure of combustible gas for over 4 seconds, in which, the rocket motor-bottom (where bonding with nozzles) is the most severe, needs to be heat protected. The carbon fabric-reinforced phenolic composite material has lots of outgoing advantages including high heat resistance and char yiled, as well as keeping the char layer configuration to resist the heat flux and erosion. To make products from this material, it is necessary to use the hot compression process. From the design requirements of the insulator for the rocket motor-bottom, the authors determined the objective was to find the technological basis and experimentally determine the reasonable processing regime to manufacture. On the basis of analyzing thermodynamic properties of hexamine cured phenolic resin, a series of experiments were performed to stabilize the production process. The products have been manufactured and tested for satisfactory performance.*

**Keywords:** Insulator; Hot composite compression; Phenolic resin; Rocket motor.

*Nhận bài ngày 25 tháng 6 năm 2021*
*Hoàn thiện ngày 18 tháng 8 năm 2021*
*Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021*

*Địa chỉ:* [1]Viện Tên lửa/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;
[2]Viện Hóa học - Vật liệu/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
[*]Email: vanhiencompany221182@gmail.com.