

ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN HÌNH DẠNG PHOI VÀ ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHUÔN KHI PHAY VẬT LIỆU UHMWPE
EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON THE CHIP SHAPE FORMATION AND MOULD SURFACE ROUGHNESS DURING MILLING UHMWPE MATERIAL

NGÔ HỮU MẠNH

*Phòng Khoa học công nghệ và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Sao Đỏ
Email liên hệ: manh.weldtech@gmail.com*

Tóm tắt

Khi phay, chế độ cắt ảnh hưởng trực tiếp đến hình dạng của phoi và độ nhám bề mặt của khuôn. Vì vậy, cần phải xác định chế độ cắt hợp lý để đạt được độ nhám bề mặt khuôn dập mong muốn khi phay vật liệu UHMWPE (Ultra high molecular weight polyethylene). Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt gồm bước tiến dao (f), vận tốc cắt (V) và chiều sâu cắt (t) đến quá trình tạo phoi và độ nhám bề mặt khi gia công khuôn dập nguội trên máy phay CNC X.Mill-900. Trong quá trình nghiên cứu, phương pháp lý thuyết và quy hoạch thực nghiệm được sử dụng để phân tích và dự đoán hình dạng phoi và độ nhám bề mặt của khuôn dập.

Từ khoá: *Phay CNC, chế độ cắt, độ nhám bề mặt, khuôn dập, khuôn dập nguội.*

Abstract

During milling, the cutting mode has a direct effect on the chip shape and surface roughness of the mould. Therefore, it is necessary to determine the appropriate cutting mode to achieve the roughness of the mould surface when milling UHMWPE material. This paper studies the influence of cutting parameters including feed rate (f), cutting speed (V) and cutting depth (t) which affect to chip shape and surface roughness when machining mould on X.Mill-900 CNC milling machines. In this research, theoretical and experimental methods which used to analyze and predict chip shape and surface roughness of mould.

Keywords: *CNC mill, cutting parameters, surface roughness, mould, tile mould.*

1. Giới thiệu chung

Hình dạng của phoi là một thông số quan trọng để đánh giá khả năng gia công của vật liệu [1]. Sự biến dạng của phoi trong quá trình cắt phụ thuộc vào đặc tính của vật liệu gia công, các thông số công nghệ của chế độ cắt [2].

Yusuf Ozcatalbas [3] đã nghiên cứu cơ chế hình thành phoi ở các tốc độ cắt khác nhau, quan sát phoi hình thành bằng phương pháp dùng nhanh... khi tăng độ cứng của Al_4C_3 - Al thì hình thành phoi dây, phoi hình thành thuận lợi nhất tại tốc độ cắt 150 m/phút.

G.Sutter [4] cùng các cộng sự đã nghiên cứu, phân tích các thông số hình học của phoi trong suốt quá trình gia công bằng camera tốc độ cao.

H.Toenshoff và B.Denkens [5] cho rằng khi gia công có sự phân đoạn của phoi và sự tập hợp biến dạng dẻo trong vùng cắt trên bề mặt. Chúng phụ thuộc vào đặc điểm của vật liệu gia công.

John Barry và Gerald Byrne [6] nghiên cứu cơ chế hình thành phoi, sự chuyển tiếp phoi dây sang phoi phân đoạn xảy ra từ từ và giảm liên tục tỉ lệ chiều dày trung bình của phoi.

Xinaobin Cui và Jun Zhao [7] đã cho rằng hình dạng của phoi khác nhau tương ứng với các điều kiện phay như phay thuận, phay nghịch và phay đối xứng.

A.Gente và H. W Hoffmeister [8] nghiên cứu và gia công vật liệu Ti_6Al_4V có sự thay đổi rõ ràng hình dạng của phoi khi tốc độ cắt lớn hơn 2000 m/phút và chiều dày phoi trên $50\mu m$.

Bành Tiến Long và các cộng sự [9] đã nghiên cứu và chứng minh rằng, thành phần hóa học của vật liệu bề mặt có ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ mòn của dụng cụ cắt.

Nguyễn Quốc Tuấn, Nguyễn Phú Sơn [10] đã nghiên cứu vật liệu composit nền nhựa, cốt sợi thủy tinh... Vật liệu này có thể gia công bằng cắt gọt, tuy nhiên ảnh hưởng của chế độ cắt đến tuổi bền của dụng cụ cắt và chất lượng bề mặt gia công chưa được nghiên cứu đầy đủ.

Carosena Meola và các cộng sự [11], vật liệu UHMWPE khi kết hợp với Crom (Cr) hoặc Coban (Co) thường được chế tạo và thay thế cho các bộ phận của cơ thể như khớp nối, xương.

Hình dạng của phoi và chất lượng bề mặt khi gia công phay có mối liên hệ trực tiếp với nhau. Chúng bị ảnh hưởng bởi chế độ cắt, đặc tính vật liệu và môi trường gia công [12].

Theo Carosena Meola [14], khi vật liệu UHMWPE được bổ sung thêm một số thành phần như Co, W,... sẽ làm tăng đặc tính cho vật liệu. Và, nó được sử dụng để chế tạo và thay thế cho các bộ phận trong cơ thể người, như khớp xương.

Những nghiên cứu trên là cơ sở để phân tích sự ảnh hưởng của chế độ cắt đến hình dạng của phoi và độ nhám bề mặt khuôn dập khi phay vật liệu UHMWPE trên máy phay CNC Xmill-900.

2. Xây dựng mô hình thực nghiệm

2.1. Thiết bị

Quá trình nghiên cứu, máy phay CNC Xmill-900 được sử dụng. Các thông số cơ bản như tốc độ quay trục chính lớn nhất 10.000 vòng/phút; công suất trục chính 6 kW, tốc độ cắt lớn nhất 12.000 mm/phút, tốc độ chạy không tải lớn nhất 48.000 mm/phút.

2.2. Dụng cụ cắt

Quá trình thực nghiệm, dao phay mặt đầu và dao phay ngón được sử dụng. Vật liệu chế tạo dao cắt là hợp kim cứng. Phương pháp làm mát bằng khí nén được sử dụng khi gia công phay.

2.3. Vật liệu gia công

Vật liệu gia công khuôn dập là UHMWPE OK 2000. Đây là vật liệu có khả năng chịu va đập cao, khả năng chịu mài mòn cao, chống ăn mòn tốt. Vật liệu này được lựa chọn làm khuôn dập ngói thay thế cho thép SKD11.

Bảng 1. Thành phần và cấu trúc của vật liệu UHMWPE OK 2000 [13]

| | |
|------------------------|---|
| Trọng lượng phân tử PE | ~10.000.000 g/mol |
| Cấu trúc phân tử | Dạng chuỗi CH ₂ =CH ₂ |

Bảng 2. Cơ tính của vật liệu UHMWPE OK 2000 [13]

| Khối lượng riêng (g/cm ³) | Giới hạn bền kéo (N/mm ²) | Giới hạn bền uốn (N/mm ²) | Khả năng chịu va đập (kJ/m ²) | Độ giãn dài (%) | Hệ số mài mòn |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|-----------------|---------------|
| 0,94 | >17 | >28 | >120 | 300 | 0,12 |

2.4. Bố trí thực nghiệm

Phương pháp quy hoạch thực nghiệm được sử dụng để phân tích, dự đoán, tối ưu hóa các thông số chế độ cắt khi phay CNC. Quá trình phân tích các thông số chế độ cắt thấy rằng, sự ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đến độ nhám bề mặt (R) của chi tiết là khác nhau. Trong đó, các thông số có sự ảnh hưởng lớn đó là bước tiến dao (f), vận tốc cắt (V) và chiều sâu cắt (t). Đây là các thành phần được lựa chọn làm biến đầu vào để phân tích sự ảnh hưởng đến bề mặt gia công phay CNC, trong khi các thông số chế độ cắt khác được giữ nguyên trong suốt quá trình thực nghiệm.

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, tác giả lựa chọn phạm vi giới hạn của các thông số chế độ cắt gồm f, V và t có ảnh hưởng trực tiếp đến R.

Bảng 3. Các thông số chế độ cắt

| TT | Thông số chế độ cắt | Ký hiệu | Giá trị |
|----|-------------------------|---------|---------|
| 1 | Bước tiến dao (mm/phút) | f | 500÷700 |
| 2 | Vận tốc cắt (m/phút) | V | 100÷300 |
| 3 | Chiều sâu cắt (mm) | t | 1,0÷2,0 |

Phân tích 3 yếu tố là 3 thông số chế độ cắt có ảnh hưởng lớn đến độ nhám bề mặt khuôn khi gia công phay CNC vật liệu UHMWPE OK 2000.

Bảng 4. Giá trị biến thiên của các thông số

| Thông số | Đơn vị | Ký hiệu | Mã hóa | Mức độ biến thiên | | |
|---------------|---------|---------|----------------|-------------------|-----|-----|
| | | | | -1 | 0 | +1 |
| Bước tiến dao | mm/phút | f | x ₁ | 500 | 600 | 700 |
| Vận tốc cắt | m/phút | V | x ₂ | 100 | 200 | 300 |
| Chiều sâu cắt | mm | t | x ₃ | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Phương trình thực nghiệm kiểu 2 mức, 3 yếu tố có dạng tổng quát như sau:

$$N = 2^k + 3 = 2^3 + 3 = 11 \quad (1)$$

Trong đó: N - Số thí nghiệm được thực hiện;
k - Các biến số ảnh hưởng, k = 3.

Có 11 thí nghiệm được thực hiện. Mức độ biến thiên thấp nhất là (-1) và cao nhất là (+1). Mối quan hệ giữa các biến và sự ảnh hưởng của chúng đến độ nhám bề mặt được mô tả bằng hàm số:

$$R = f(f, V, t) \quad (2)$$

Trong đó: R - Độ nhám bề mặt (μm);
f - Bước tiến dao (mm/phút);
V - Vận tốc cắt (m/phút);
t - Chiều sâu cắt (mm).

Phương trình hồi quy dạng tổng quát như sau:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^k a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad (3)$$

Trong đó: a_0, a_i, a_{ij} là các hệ số;
 x_i, x_j là biến số, $i \neq j, 1 \leq i, j \leq k$.

Phương trình hồi quy bậc nhất với các biến số f, V và t ảnh hưởng đến R có dạng như sau:

$$Y = a_0 + a_1.f + a_2.V + a_3.t + a_{12}.f.V + a_{13}.f.t + a_{23}.V.t \quad (4)$$

Kết quả phân tích ANOVA, tác giả đã xác định được hệ số tương quan $R^2 = 98,8\%$ và hệ số phù hợp với mô hình thực nghiệm $Q^2 = 94,3\%$.

Phân tích kết quả thực nghiệm kết hợp sử dụng phần mềm Modde, tác giả đã xác định được các giá trị của phương trình hồi quy (5) như sau:

$$Y = 2,6 + 0,42.f - 1,07.V + 0,58.t - 0,27.f.V + 0,79.f.t - 0,31.V.t \quad (5)$$

Phân tích phương trình hồi quy (5) thấy rằng, các thông số chế độ cắt ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt khuôn (R) là khác nhau.

Bảng 5. Giá trị các thông số chế độ cắt và độ nhám bề mặt

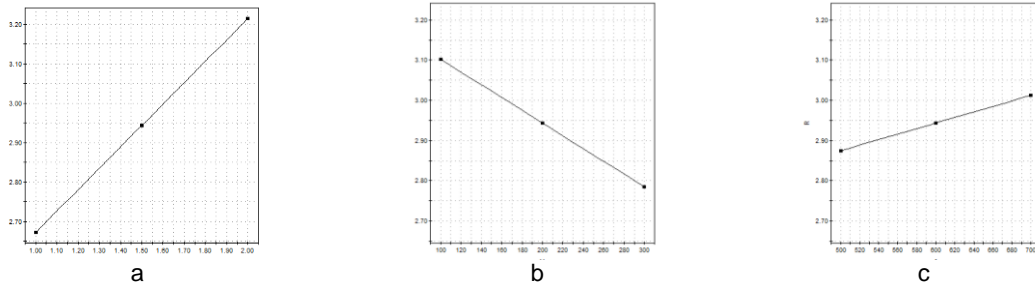
| TT | Các biến mã hóa | | | Giá trị các biến thực | | | R (μm) |
|----|-----------------|-------|-------|-----------------------|-----|-----|---------------------|
| | x_1 | x_2 | x_3 | f | V | t | |
| 1 | -1 | -1 | -1 | 500 | 100 | 1,0 | 2,82 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 700 | 100 | 1,0 | 3,16 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 500 | 300 | 1,0 | 2,52 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 700 | 300 | 1,0 | 2,57 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 500 | 100 | 2,0 | 3,38 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 700 | 100 | 2,0 | 3,43 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 500 | 300 | 2,0 | 3,16 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 700 | 300 | 2,0 | 3,27 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 600 | 200 | 1,5 | 2,69 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 600 | 200 | 1,5 | 2,69 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 600 | 200 | 1,5 | 2,69 |

Phân tích giá trị của hàm và hình ảnh thấy rằng, giá trị của R bị ảnh hưởng lớn nhất bởi t, tiếp theo là V, cuối cùng là f. Như vậy, khi cần thay đổi giá trị của R, chỉ cần thay đổi giá trị của f hoặc V hoặc t hoặc thay đổi đồng thời cả 3 thông số f, V, t.

Phân tích Hình 1.a thấy rằng, khi giữ nguyên giá trị của f và V, nhưng điều chỉnh giá trị của chiều sâu cắt t từ mức 1,0 mm đến 2,0 mm thì giá trị của độ nhám R của bề mặt khuôn dập cũng có sự thay đổi tăng lên theo hướng tỉ lệ thuận với sự gia tăng của t.

Phân tích Hình 1.b thấy rằng, khi giữ nguyên giá trị của f và t, nhưng điều chỉnh giá trị của vận tốc cắt V từ mức 100m/phút đến 300m/phút thì giá trị của độ nhám R của bề mặt khuôn dập có sự thay đổi giảm xuống theo hướng tỉ lệ nghịch với sự gia tăng của V.

Phân tích Hình 1.c thấy rằng, khi giữ nguyên giá trị của V và t, nhưng điều chỉnh giá trị của bước tiến dao f từ mức 500mm/phút đến 700mm/phút thì giá trị của độ nhám R của bề mặt khuôn dập có sự thay đổi tăng lên theo hướng tỉ lệ thuận với sự gia tăng của f.



Hình 1. Ảnh hưởng của f , V và t đến R

- a. Ảnh hưởng của f và V đến giá trị của R khi $t=1,0 \div 2,0\text{mm}$
- b. Ảnh hưởng của f và t đến giá trị của R khi $V=100 \div 300\text{m/phút}$
- c. Ảnh hưởng của V và t đến giá trị của R khi $f=500 \div 700 \text{ mm/phút}$

Như vậy, khi phay CNC vật liệu UHMWPE OK 2000, giá trị của R bị ảnh hưởng bởi các thông số chế độ cắt (f , V , t). Nhưng sự ảnh hưởng của mỗi thông số f , V , t đến R là khác nhau. Giá trị của R tỉ lệ thuận với f và t , nhưng lại tỉ lệ nghịch với V . Mức độ ảnh hưởng của t đến R là lớn nhất.

3. Kết quả nghiên cứu

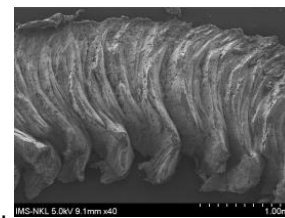
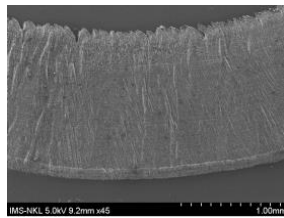
3.1. Hình dạng phoi

Khi phay vật liệu UHMWPE OK 2000, quá trình tạo phoi diễn ra nhanh, thời gian tiếp xúc giữa dao với phoi ngắn. Hình dạng và kích thước của phoi phụ thuộc rất nhiều vào f , V và t . Ở mỗi chế độ cắt khác nhau, phoi nhận được cũng có hình dạng và kích thước khác nhau.



Hình 2. Khuôn dập ngói bằng vật liệu UHMWPE OK 2000 sau khi phay CNC

Phân tích Hình 3.a thấy rằng, với chế độ cắt $f=700 \text{ mm/phút}$, $V=300\text{m/phút}$, $t=1,0\text{mm}$ thì phoi được tạo ra có dạng sợi liên tục. Tuy nhiên, phoi vẫn bị bám vào dao và là nguyên nhân gây ra hiện tượng leo dao. Nhưng do quá trình phay là quá trình cắt không liên tục nên leo dao hình thành cũng không ổn định và bị mất đi ngay sau đó. Trên bề mặt phoi cũng có sự phân lớp rõ rệt, gồm vùng biến dạng ở cạnh phía trên phoi và vùng biến dạng ở cạnh phía dưới phoi.



Hình 3. Hình dạng phoi khi phay CNC vật liệu UHMWPE

- a. Khi $f=700\text{mm/phút}$, $V=300\text{m/phút}$, $t=1,0\text{mm}$
- b. Khi $f=500\text{mm/phút}$, $V=100\text{m/phút}$, $t=2,0\text{mm}$

Phân tích Hình 3.b thấy rằng, với chế độ cắt $f=500\text{mm/phút}$, $V=100\text{m/phút}$, $t=2,0\text{mm}$ thì phoi được tách ra bị xoắn. Vùng phía ngoài bề mặt tự do của phoi không bị ảnh hưởng bởi lực tiếp xúc của phôi và dao nên bị biến dạng nhiều tạo thành các lớp có dạng hình răng cưa. Còn vùng phía trong của phoi do bị ảnh hưởng của sự tiếp xúc giữa dao và phần phôi còn lại, vật liệu ở vùng này gần như bị nén và cấu trúc của phoi vùng này khác biệt vùng phoi phía ngoài. Các lớp ở vùng phoi phía trong có xu hướng nghiêng theo cạnh bên trong của dao, kích thước nhỏ và phân bố đều nhau. Đồng thời ở vùng phoi phía ngoài, các lớp hình thành quan sát thấy trên bề mặt phoi bị xoắn.

3.2. Độ nhám bề mặt

Độ nhám bề mặt của khuôn bị ảnh hưởng rất lớn bởi chế độ cắt và điều kiện gia công. Do đặc tính của vật liệu UHMWPE OK 2000, phương pháp làm mát bằng khí được lựa chọn khi phay CNC. Lưu lượng khí làm mát là 25 lít/phút.



Hình 4. Đo độ nhám trên bề mặt khuôn sau khi phay CNC

Sử dụng thiết bị đo độ nhám SJ 201P của hãng Mitutoyo (Nhật Bản) để xác định độ nhám trên bề mặt khuôn sau khi phay. Các vị trí trên bề mặt khuôn được lựa chọn để đo độ nhám có ảnh hưởng trực tiếp đến hình dạng và tính thẩm mỹ của sản phẩm sau khi dập.

Bảng 6. Kết quả đo độ nhám R trên bề mặt khuôn UHWMPE OK 2000 sau khi phay CNC

| TT | Vị trí kiểm tra | Ký hiệu | Giá trị của R (μm) |
|----|-----------------|---------|---------------------------------|
| 1 | Mặt phân khuôn | R1 | 2,54 |
| 2 | Gân | R2 | 2,76 |
| 3 | Mặt trám | R3 | 2,88 |
| 4 | Sườn trám | R4 | 3,31 |
| 5 | Rãnh | R5 | 3,23 |
| 6 | Mặt logo | R6 | 2,61 |

Độ nhám R trên bề mặt khuôn bằng vật liệu UHWMPE OK 2000 sau khi phay CNC dao động trong khoảng $2,54 + 3,31\mu\text{m}$. Ở cùng một chế độ cắt, tại các vị trí dao dễ tiếp cận để thực hiện quá trình gia công thì độ nhám R thấp hơn so với các vị trí mặt cong, góc khuất và các mặt nghiêng.

4. Kết luận

- Kích thước và hình dạng của phoi khi phay CNC vật liệu UHWMPE OK 2000 bị ảnh hưởng trực tiếp bởi chế độ cắt.

- Khi phay lòng khuôn vật liệu UHWMPE OK 2000, độ nhám bề mặt R bị ảnh hưởng rất lớn bởi chế độ cắt. Trong đó, độ nhám R bị ảnh hưởng lớn nhất bởi chiều sâu cắt t.

- Sự ảnh hưởng của f, V và t đến độ nhám R là khác nhau; trong đó, f và t tỉ lệ thuận với R, còn V tỉ lệ nghịch với R.

- Ở cùng một chế độ cắt, các vị trí dao dễ tiếp cận để thực hiện quá trình gia công thì độ nhám R thấp hơn so với các vị trí mặt cong, góc khuất và các mặt nghiêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Rathi, A. Mahor, R. Ranjan, A. Gajbhiye, A. Rehman, and C. M. Krishna. *Characterization of Chip Morphology for Aluminum Metal Matrix Composites in End Milling Machining*. Univers. J. Mech. Eng.2, pp. 240-247, 2014.
- [2] S. Ekinovi and J. Kopa. *A contribution to the understanding of chip formation mechanism in high-speed cutting of hardened steel*. Achiev. Mech.Mater. Eng. pp. 1-4, 2002.
- [3] Y. Ozcatalbas. *Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al4C3-Al composite*. Mater. Des. 24, pp. 215-221, 2003.
- [4] G. Sutter (2005). *Chip geometries during high-speed machining for orthogonal cutting conditions*. Int. J.Mach. Tools Manuf. 45, pp. 719-726, 2005.
- [5] H. K. Toenshoff and B. Denkena. *Basics of Cutting and Abrasive Processes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [6] J. Barry and G. Byrne. *The Mechanisms of Chip Formation in Machining Hardened Steels*. J. Manuf. Sci. Eng. 124, pp. 528-134, 2002.
- [7] X. Cui and J. Zhao. *Cutting performance of coated carbide tools in high-speed face milling of AISI H13 hardened steel*. Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 71, No. 9-12, pp. 1811-1824, 2014.
- [8] A. Gente, H.-W.Hoffmeister, and C. J. Evans. *Chip Formation in Machining Ti6Al4V at Extremely High Cutting Speeds*. CIRP Ann. - Manuf. Technol., Vol. 50, No. 1, pp. 49-52, 2001.
- [9] Banh Tien Long, Ngo Cuong, Nguyen Huu Phan, Pichai Janmanee. *Machining Properties Evaluation of Copper and Graphite Electrodes in PMEDM of SKD61 Steel in Rough Machining*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên, Tập 4, Số 3, 2015.

- [10] Nguyễn Quốc Tuấn, Nguyễn Phú Sơn. *Ảnh hưởng của tốc độ cắt đến độ nhám bề mặt khi gia công vật liệu Composit nền nhựa, cốt sợi thủy tinh bằng phương pháp tiện*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Thái Nguyên.
- [11] Carosena Meola, Giovanni Maria Carlomagno, Giuseppe Giorleo. *Cross-linked Polyethylene*. University of Naples Federico II, Napoli, Italia, 2015.
- [12] Q. Yang, Y. Wu, D. Liu, L. Chen, D. Lou, Z. Zhai, and Z. Liu. *Characteristics of serrated chip formation in high-speed machining of metallic materials*. Int. J. Adv. Manuf. Technol., pp. 1-6, 2016.
- [13] Okulen. *Okulen catalogue*. Ottensteiner Kunststoff GmbH&Co.KG, Germany, 2017.
- [14] Carosena Meola, Giovanni Maria Carlomagno, Giuseppe Gioleo. *Cross-Linked Polyethylene*. Encyclopedia of Chemical Processing, Taylor and Francis, 2006.

Ngày nhận bài: 14/11/2019
Ngày nhận bản sửa: 27/11/2019
Ngày duyệt đăng: 16/12/2019