

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH MỘT SỐ THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA MÁY BẮM CẮT RÁC THẢI NI LÔNG PHỤC VỤ TÁI CHẾ

Lê Hồng Chương^{a,*}, Đỗ Văn Nhất^a

^a*Khoa Cơ khí Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 10/06/2019, Sửa xong 19/07/2019, Chấp nhận đăng 19/07/2019

Tóm tắt

Xử lý rác thải ni lông hiện đang là một vấn đề rất cấp bách không những ở Việt Nam mà còn trên thế giới. Trong các dây chuyền công nghiệp tái chế rác thải ni lông, không thể thiếu máy băm - cắt ni lông. Tuy nhiên, cho tới nay rất ít tài liệu trong nước và nước ngoài đề cập cụ thể về các tính toán đối với loại máy này. Bài báo này đã đề xuất được trình tự các bước xác định các thông số cơ bản về hình học và động học của máy băm - cắt ni lông loại trục đôi đáp ứng yêu cầu về năng suất và kích thước sản phẩm đầu ra. Kết quả của bài báo có thể làm cơ sở tính toán thiết kế, chế tạo loại máy này ở Việt Nam.

Từ khoá: máy cắt trục đôi; lưỡi cắt; buồng cắt; lực cản cắt.

STUDYING TO DETERMINE THE BASIC PARAMETERS OF PLASTIC WASTE SHREDDER MACHINE FOR RECYCLING OPERATION

Abstract

Nowadays, the treatment of plastic wastes becomes an urgent problem not only in Vietnam but also in the world. Shredders are an indispensable part in the lines processing recycling plastic wastes. However, there are lacks of domestic and foreign documents related to calculation for shredder machines. This paper has proposed a procedure to determine the basic geometrical and dynamical parameters of the double shaft shredder type meeting the requirements for productivity and dimensions of machine. The results of this paper can be used for calculating and designing these machines in Vietnam.

Keywords: double shaft shredder; blade; cutting chamber; cutting resistance.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(3V\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-10) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Xử lý rác thải ni lông đang là vấn đề lớn của nhiều quốc gia trên thế giới trong đó có Việt Nam. Theo báo cáo hiện trạng môi trường đô thị năm 2016 của Bộ Tài nguyên và Môi trường “trung bình mỗi ngày phát sinh 38000 tấn rác thải rắn, trong đó rác thải ni lông chiếm 7÷8% với mức độ gia tăng trung bình 12% mỗi năm”. Sự tồn tại của ni lông trong môi trường sẽ gây ảnh hưởng nghiêm trọng tới đất và nước bởi túi ni lông lẫn vào đất sẽ ngăn cản ôxy đi qua đất, gây xói mòn đất, làm cho đất không giữ được nước, dinh dưỡng, từ đó làm cho cây trồng chậm tăng trưởng. Nghiêm trọng hơn, môi trường đất và nước bị ô nhiễm bởi túi ni lông sẽ ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp tới sức khỏe con người. Trong thực tế, nhiều loại túi ni lông được làm từ dầu mỏ nguyên chất khi ngấm vào nguồn nước sẽ xâm nhập vào cơ thể người gây rối loạn chức năng và dị tật bẩm sinh ở trẻ nhỏ. Đặc điểm của rác

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: chuonglh@nuce.edu.vn (Chương, L. H.)

thải ni lông có thời gian phân hủy rất chậm từ 400 ÷ 600 năm và có thể coi là không phân hủy khi ở điều kiện môi trường tự nhiên nên trong các phương pháp xử lý trên thì tái chế được coi là hướng xử lý tối ưu nhất. Theo báo cáo năm 2017 của Ocean Conservancy “Việt Nam đang đứng thứ 4 thế giới về phát sinh nhiều chất thải nhựa, ni lông, chỉ sau Trung Quốc, Indonesia, Philippines”. Vì vậy, việc xử lý chất thải nhựa nói chung và ni lông nói riêng là một vấn đề được đặt ra hết sức cấp bách.

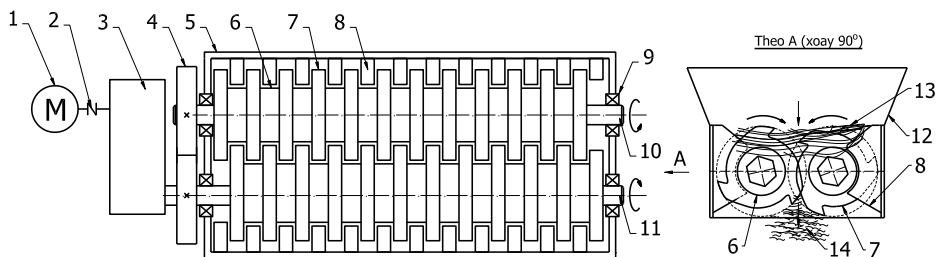
Có nhiều phương pháp xử lý được sử dụng như: chôn lấp và chôn lấp hợp vệ sinh, đốt, phương pháp sinh học và tái chế, [1, 2]. Trong đó, phương pháp sinh học và tái chế đang được các nước trên thế giới ưu tiên sử dụng. Hiện nay, ni lông có thể được tái chế thành nhiều sản phẩm khác nhau và trong các dây chuyền tái chế công đoạn làm nhỏ kích thước phế thải ni lông bằng máy băm – cắt là không thể thiếu. Máy băm – cắt (tên tiếng Anh là Shredder) là loại máy dùng để nghiền nát hoặc băm và cắt các loại vật liệu chất thải như nhựa, ni lông, cao su... Theo số lượng trục, máy gồm các loại như một trục, hai trục và bốn trục [3]. Loại máy này được cấu tạo theo từng mục đích nhất định, tùy thuộc loại vật liệu và kích thước sản phẩm yêu cầu sẽ lựa chọn các thông số của máy như khoảng cách giữa các dao, số lưỡi cắt trên một dao, đường kính trục, công suất động cơ... [4].

Trên thế giới có nhiều hãng lớn đã sản xuất loại máy này và đưa ra tiêu chuẩn về kích thước của dao cắt như: SSI Shredding, Moco, US Shredder... tuy nhiên tài liệu tính toán, thiết kế máy là bí mật công nghệ của các hãng sản xuất nên rất khó tiếp cận. Do đó, mục đích của bài báo này là xây dựng trình tự các bước xác định các thông số cơ bản phục vụ cho việc tính toán thiết kế và chế tạo máy băm – cắt phế thải ni lông loại trục đôi phục vụ cho dây chuyền tái chế ở Việt Nam. Dựa trên cơ sở lý thuyết của cơ học phá hủy vật liệu màng, kết hợp với phân tích cơ chế cắt của máy cắt ni lông loại trục đôi, bài báo đã xây dựng mô hình cơ học và mô hình toán học xác định lực cản của quá trình cắt. Từ đó xác định được các thông số hình học và động học cơ bản của máy theo loại dao cắt đáp ứng yêu cầu về năng suất và kích thước sản phẩm đầu ra.

2. Xác định các thông số hình học và động học của máy

2.1. Cấu tạo và đặc điểm làm việc của máy cắt ni lông loại trục đôi

Sơ đồ cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy được mô tả trên Hình 1, hai trục dao cắt quay ngược chiều nhau có gắn các dao được bố trí theo một quy luật nhất định. Sự kết hợp chuyển động của các cặp dao cắt kề nhau trên hai trục tạo ra quá trình băm - cắt nhỏ ni lông thành các mảnh nhỏ có kích thước phụ thuộc vào các thông số hình học của dao cắt.



1. Động cơ; 2. Khớp nối; 3. Hộp giảm tốc; 4. Bộ truyền bánh răng đồng tốc; 5. Thân máy; 6. Vòng cách; 7. Dao cắt; 8. Tầm cách cố định; 9. Ổ đỡ trục; 10. Trục I; 11. Trục II; 12. Phễu nạp; 13. Ni lông đầu vào; 14. Sản phẩm (ni lông đã được cắt nhỏ)

Hình 1. Sơ đồ nguyên lý làm việc của máy cắt ni lông trục đôi

Máy cắt ni lông loại trục đôi có ưu điểm là năng suất cao nhưng cấu tạo đơn giản, dễ lắp ghép và gia công chế tạo nên được sử dụng rất phổ biến trên thế giới.

2.2. Xác định các thông số hình học của máy

Các thông số hình học của máy được xác định phụ thuộc vào yêu cầu kích thước sản phẩm (chiều dài, rộng) và năng suất máy.

a. Xác định kích thước dao cắt

Từ yêu cầu kích thước sản phẩm đầu ra: chiều rộng: w (mm), chiều dài l (mm)

- Chọn chiều rộng của dao cắt b (H.4) bằng kích thước chiều rộng của sản phẩm yêu cầu (w);
- Chiều dài của sản phẩm bằng khoảng cách giữa các lưỡi cắt liên tiếp trên dao cắt nên đường kính vòng đỉnh của dao cắt phải chọn thỏa mãn:

$$d_a = \frac{Zl}{\pi} \quad (1)$$

b. Xác định khoảng cách giữa hai trục dao cắt

Từ thông số hình học của dao cắt đã lựa chọn, xác định được khoảng cách giữa hai trục dao:

$$a = 2 \frac{d_f}{2} - \delta_4 = \delta_f - \delta_4 \text{ (mm)} \quad (2)$$

trong đó d_f là đường kính vòng chân của lưỡi dao cắt, (mm); δ_4 là khoảng chồng lấn giữa hai dao cắt, (mm).

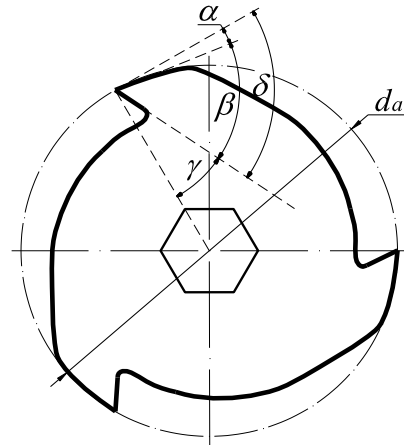
Khoảng cách trục a cũng có thể xác định theo công thức:

$$a = \frac{d_a + d_b}{2} + \delta_2 \text{ (mm)} \quad (3)$$

trong đó d_a là đường kính vòng đỉnh lưỡi cắt của dao cắt, (mm); d_b là đường kính của vòng cách, (mm); δ_2 là khe hở giữa đỉnh lưỡi cắt với vòng cách, (mm).

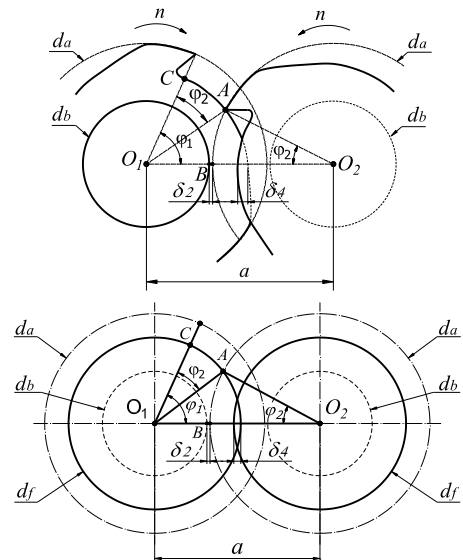
Từ (3) xác định được đường kính vòng cách d_b :

$$d_b = 2(a - \delta_2) - d_a \quad (4)$$



Z - Số lưỡi cắt trên dao d_a - Đường kính vòng đỉnh lưỡi cắt, mm; b - Chiều dày của dao, mm; α, β, γ - Góc sau, góc trước và góc sắc, độ.

Hình 2. Thông số hình học cơ bản của dao



Hình 3. Mô hình xác định góc lệch của dao cắt

c. Xác định thông số về góc lệch của một cặp dao cắt trên hai trục trong quá trình cắt

Trong quá trình cắt (H.3), lưỡi dao cắt trên trục 2 bắt đầu cắt từ điểm A và kết thúc tại điểm B tương đương với dao cắt trên trục 2 quay được một góc φ_2 , đồng thời trong quá trình đó lưỡi dao cắt trên trục 2 chuyển động từ điểm C đến điểm B để đảm bảo dao cắt trên trục 2 vừa kết thúc quá trình cắt thì dao cắt trên trục 1 mới bắt đầu quá trình cắt khi đó hai dao cắt trên hai trục không đồng thời cắt và giảm được lực cản trong quá trình cắt, như vậy tại thời điểm bắt đầu quá trình cắt thì lưỡi dao cắt trên trục 1 đặt lệch so với phương ngang một góc φ_1 .

Dựa vào các thông số hình học của dao cắt và khoảng cách đã tính toán, xác định góc φ_2 :

Xét $\Delta O_1 O_2 A$ có: $O_1 A^2 = O_1 O_2^2 + O_2 A^2 - 2 O_1 O_2 O_2 A \cos \varphi_2$

$$\Leftrightarrow \frac{d_f^2}{4} = a^2 + \frac{d_a^2}{2} - 2a \frac{d_a}{2} \cos \varphi_2 \Leftrightarrow \varphi_2 = \arccos \left(\frac{4a^2 + d_a^2 - d_f^2}{4ad_a} \right) \quad (5)$$

Xác định góc φ_1 :

Đặt $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ xét $\Delta O_1 O_2 A$ (Hình 3) có: $O_2 A^2 = O_1 O_2^2 + O_1 A^2 - 2.O_1 O_2 O_1 A \cos \Delta\varphi$

$$\begin{aligned} \frac{d_a^2}{4} &= a^2 + \frac{d_f^2}{4} - 2a \frac{d_f}{2} \cos \Delta\varphi \Leftrightarrow \Delta\varphi = \arccos \left(\frac{4a^2 + d_f^2 - d_a^2}{4ad_f} \right) \\ \Rightarrow \varphi_1 &= \varphi_2 + \Delta\varphi = \arccos \left(\frac{4a^2 + d_a^2 - d_f^2}{4ad_a} \right) + \arccos \left(\frac{4a^2 + d_f^2 - d_a^2}{4ad_f} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Khi lựa chọn dao cắt có số lượng lưỡi cắt là Z thì góc lệch giữa các lưỡi cắt là $\varphi = \frac{360}{Z}$, như vậy để lưỡi cắt trên một dao cắt lần lượt thực hiện quá trình cắt thì góc $\varphi_1 < \varphi = \frac{360}{Z}$.

Nếu tính toán góc φ_1 theo công thức 6 cho kết quả $\varphi_1 > \varphi$ thì phải điều chỉnh tăng khoảng cách trục a và tăng đường kính vòng cách d_b để thỏa mãn $\varphi_1 < \varphi$.

Công thức (5) và (6) xác định góc lệch của dao cắt trên hai trục tại thời điểm 1 cặp dao bất kỳ bắt đầu quá trình cắt. Trong máy cắt ni lông loại hai trục, trên một trục sử dụng nhiều dao cắt đặt lệch nhau một góc θ và bố trí theo một quy luật nhất định như bố trí kiểu khai triển, kiểu đối xứng hoặc kiểu Zích zắc có thể có một hoặc nhiều dao cắt đồng thời, để hạn chế tối đa số số lượng dao cùng cắt tại một thời điểm làm tăng lực cản cắt thì góc lệch $\theta \geq \varphi_2$ (khi đó dao cắt đầu tiên cắt xong thì dao kế tiếp mới thực hiện quá trình cắt).

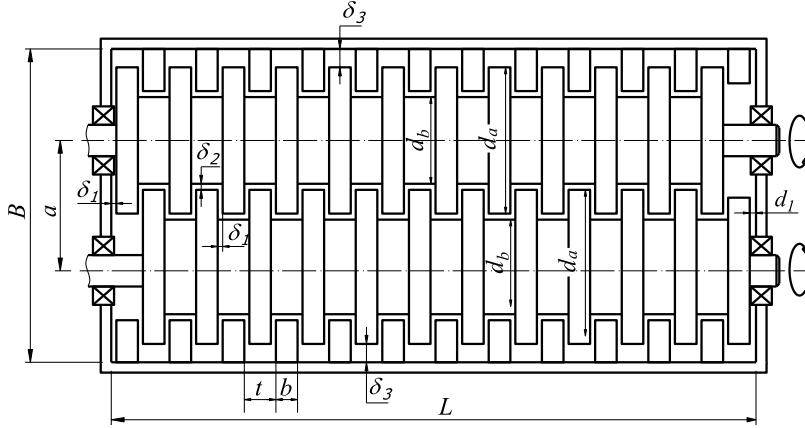
d. Xác định kích thước cơ bản của buồng cắt

Kích thước của buồng cắt (Hình 4) phải phù hợp với các thông số hình học của dao cắt đã chọn trước, khoảng cách trục a đã tính toán theo (2). Từ đó, xác định được chiều rộng (B) và chiều dài (L) của buồng cắt:

$$\text{- Chiều rộng của buồng cắt: } B = a + d_a + 2\delta_3 \text{ (mm)} \quad (7)$$

$$\text{- Chiều dài của buồng cắt: } L = d(b + t) \text{ (mm)} \quad (8)$$

trong đó a là khoảng cách giữa hai trục dao, (mm); d_a là đường kính vòng đỉnh lưỡi cắt của dao cắt, (mm); δ_3 là khe hở giữa đỉnh lưỡi cắt với thành bên của buồng cắt, (mm); d là số lượng dao cắt trên một trục; b là chiều rộng của dao cắt, (mm); t là khoảng cách giữa hai dao cắt kề nhau trên một trục, (mm).



Hình 4. Kích thước buồng cắt

2.3. Xác định tốc độ quay của trục dao cắt

Với cách bố trí dao có các dao cắt đặt liên tiếp lệch nhau thỏa mãn điều kiện như trong mục 2.2c thì trong một vòng quay của trục, tất cả các dao cắt đều thực hiện được hết một chu kỳ cắt, do đó năng suất máy theo thể tích được xác định theo [5]:

$$Q_v = 60nkdZq \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (9)$$

trong đó n là tốc độ quay của trục dao cắt, (v/ph); k là số lượng trục; d là số lượng dao cắt trên một trục; Z là số lượng lưỡi cắt của một dao cắt; q là thể tích vật liệu được cắt tính trên một lưỡi cắt, (m^3).

Thể tích vật liệu được cắt tính trên một lưỡi cắt q được xác định theo công thức:

$$q = k_c A_c b$$

trong đó k_c là hệ số độ chặt của lớp vật liệu; A_c là diện tích vùng cắt, (mm^2); b là chiều rộng của dao cắt, (mm).

Năng suất máy cũng có thể xác định theo khối lượng:

$$Q_m = Q_v \gamma = 60nkdZq\gamma \quad (\text{kg/h}) \quad (10)$$

trong đó γ là trọng lượng riêng của vật liệu đưa vào cắt, (kg/m^3).

Từ (10) xác định được tốc độ quay của trục:

$$n = \frac{Q_m}{60kdZq\gamma} \quad (\text{v/ph}) \quad (11)$$

Theo [6], máy cắt ni lông loại trục đôi thường cắt ở tốc độ thấp với tốc độ quay của trục $n < 50$ (v/ph). Do đó, khi tính toán lựa chọn các thông số hình học của máy đáp ứng được năng suất yêu cầu phải thỏa mãn điều kiện tốc độ quay của trục dao $n < 50$ (v/ph).

Trong trường hợp tốc độ quay tính toán ra quá lớn thì có thể điều chỉnh bằng cách tăng số lượng dao cắt trên một trục d hoặc lựa chọn loại dao cắt có kích thước lớn hơn để tăng thể tích vật liệu được cắt trên một lưỡi cắt q .

3. Xây dựng mô hình tính toán các thành phần lực cản trong quá trình băm - cắt ni lông

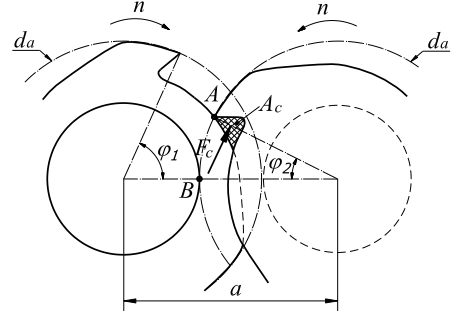
Trong thực tế quá trình ni lông bị băm - cắt trong máy là một quá trình phức tạp, ở đó ni lông vừa chịu cắt và vừa chịu xé đồng thời. Vì vậy, rất khó để tính toán chính xác thành phần lực cản do cắt và xé gây ra. Trong nghiên cứu này, bài báo đề xuất đưa ra các trọng số cho từng loại lực cản cắt và xé.

3.1. Mô hình xác định lực cản trong trường hợp ni lông chỉ chịu cắt [7]

Sau khi đưa vật liệu vào buồng cắt, chuyển động quay của dao có các răng cắt sẽ kéo vật liệu vào vùng cắt và vật liệu sẽ được cắt bởi hai cạnh bên của dao. Lực cắt đứt vật liệu dưới sự tương tác của 2 cạnh dao đối tiếp trên hai trục được xác định theo công thức:

$$F_c = \tau_{ult} A_c \quad (12)$$

trong đó τ_{ult} là ứng suất cắt giới hạn của ni lông, (N/mm²); A_c là diện tích vùng cắt, (mm²), phụ thuộc vào các thông số hình học của dao.



Hình 5. Mô hình xác định lực cản cắt cạnh dao của một cặp răng cắt

3.2. Mô hình tính toán lực cản trong trường hợp ni lông chỉ chịu xé [8–10]

a. Xét cho trường hợp xé một lớp màng

Hình 6 là mô hình quá trình xé ni lông trên máy cắt hai trục. Lực xé rách F_t là lực tối thiểu cần thiết để phát triển vết rách. Độ dài của vết xé ban đầu là a , để vết xé phát triển lên một đoạn Δa thì mỗi nhánh sẽ dài thêm một khoảng $\Delta a(1 + \varepsilon)$, với ε là biến dạng đàn hồi của vật liệu.

Để tính toán lực xé cần thiết F_t , xuất phát từ phương trình bảo toàn năng lượng:

$$\Delta W_e = \Delta W + \Delta U_{el} \quad (13)$$

trong đó ΔW_e là tổng năng lượng để xé vết xé có chiều dài Δa

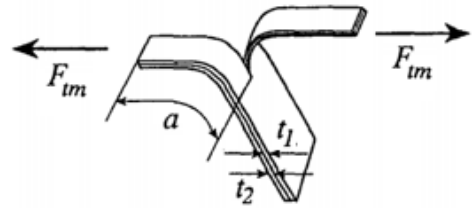
$$\Delta W_e = -G\Delta a \quad (14)$$

trong đó G là lực xé tạo ra trên một đơn vị chiều dày do lực F_t , (N/m); ΔW là công của lực F_t :

$$\Delta W = -2F_t\Delta a(1 + \varepsilon) \quad (15)$$

Dấu “-” trong (14) và (15) thể hiện chiều của ngoại lực F_t ngược với chiều của biến dạng ε . ΔU_{el} là độ biến thiên năng lượng đàn hồi trong vật liệu chịu xé:

$$\Delta U_{el} = 2\left(\frac{1}{2}F_t\varepsilon\Delta a\right) \quad (16)$$



F_{tm} là lực tác dụng cần thiết để xé m lớp màng đặt chồng lên nhau; a là chiều dài vết xé ban đầu; t_1, t_2 là chiều dày của các lớp màng ni lông khác nhau

Hình 6. Mô hình xác định lực xé màng ni lông

Thế (14), (15), (16) vào (13), nhận được:

$$G = -\frac{(\Delta W + \Delta U_{el})}{\Delta at} = -\frac{\left[-2F_t \Delta a (1 + \varepsilon) + 2\left(\frac{1}{2} F_t \varepsilon \Delta a\right)\right]}{\Delta at} = \frac{2F_t \left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right)}{t} \quad (17)$$

Điều kiện vết xé tiếp tục phát triển là:

$$G \geq R_t \Rightarrow \frac{2F_t \left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right)}{t} \geq R_t \Leftrightarrow F_t \geq \frac{R_t t}{2 \left(1 + \frac{\varepsilon}{2}\right)} \quad (18)$$

trong đó R_t là độ bền xé của màng có chiều dày t , (N/m); t là chiều dày của màng, (m).

Trong trường hợp này các cạnh dao tác dụng trực tiếp ở vị trí xé nên biến dạng ε nhỏ và có thể bỏ qua, do vậy lực F_t cần thiết để xé một lớp màng

$$F_t \geq \frac{R_t t}{2} \quad (19)$$

b. Xét cho trường hợp xé nhiều lớp màng

Để tính toán lực xé đối với màng vật liệu màng nhiều lớp, giả thiết các lớp màng song song và liên kết dính với nhau, khi đó lực xé đồng thời m lớp màng được xác định theo công thức:

$$F_{tm} = F_1 + F_2 + \dots + F_n \geq \frac{R_1 t_1}{2} + \frac{R_2 t_2}{2} + \dots + \frac{R_m t_m}{2} \quad (20)$$

trong đó F_{tm} là lực tác dụng để xé đồng thời m lớp màng, (N); $F_1, F_2, \dots, F_n$ là lực tác dụng để xé từng lớp màng có chiều dày $t_1, t_2, \dots, t_m$, (N); $R_1, R_2, \dots, R_n$ là độ bền xé từng của các lớp màng có chiều dày $t_1, t_2, \dots, t_m$, (N/m).

Nếu xé đồng thời m lớp màng giống nhau thì (20) trở thành:

$$F_{tm} = F_1 + F_2 + \dots + F_n \geq m \frac{Rt}{2} \quad (21)$$

trong đó R là độ bền xé 1 lớp màng, (N/m).

Vậy lực cần xé m lớp màng:

$$F_x = F_{tm} = m \frac{Rt}{2} \quad (22)$$

3.3. Xác định lực cản trong trường hợp cắt - xé đồng thời

Quá trình cắt ni lông trên máy cắt loại hai bao gồm quá trình cắt và xé đồng thời, phương chiều lực cản cắt và xé thay đổi trong quá trình máy làm việc nên rất khó xác định được giá trị chính xác. Trong mục 3.1 và 3.2 là mô hình xác định lực cản tính riêng cho trường hợp chỉ cắt hoặc chỉ xé. Vì khi máy làm việc hai quá trình cắt và xé diễn ra đồng thời nên để đơn giản, dùng phương pháp trung bình trọng số xác định tổng thành phần lực cản khi cắt – xé đồng thời theo công thức:

$$F = p_1 F_c + p_2 F_x \quad (N) \quad (23)$$

trong đó F_c là thành phần lực cản tính toán theo mô hình cắt, (N); F_x là thành phần lực cản tính toán theo mô hình xé, (N); p_1, p_2 là trọng số ảnh hưởng của quá trình cắt và xé, với $p_1 + p_2 = 1$.

Các trọng số p_1 và p_2 trong (23) cho thấy sự ảnh hưởng của quá trình cắt và xé đến tổng lực cản F . Tuy nhiên, để xác định chính xác các trọng số p_1 và p_2 cần thực hiện nhiều lần thực nghiệm trên một loại máy thực tế. Trong trường hợp không có các giá trị thực của hai trọng số này cần lưu ý lựa chọn trọng số lớn hơn cho thành phần lực cản lớn hơn hoặc chọn hệ số an toàn lớn hơn để đảm bảo máy không bị quá tải.

4. Kết luận

Máy băm - cắt ni lông là thiết bị quan trọng trong dây chuyền công nghệ tái chế rác thải ni lông. Trong các loại máy băm - cắt ni lông thì loại trục đôi được sử dụng phổ biến. Tuy nhiên, cho tới nay rất ít tài liệu trong nước và nước ngoài đề cập cụ thể về các tính toán đối với loại máy này. Với mục đích tự chủ trong tính toán thiết kế và chế tạo loại máy trục đôi này ở Việt Nam. Bài báo đã xây dựng được mô hình cơ học và mô hình toán học xác định lực cản của quá trình cắt cho loại máy này dựa trên cơ sở lý thuyết của cơ học phá hủy vật liệu màng, kết hợp với phân tích cơ chế cắt của máy cắt ni lông. Từ đó, đã đề xuất được trình tự các bước xác định các thông số cơ bản về hình học và động học của máy theo loại dao cắt đáp ứng yêu cầu về năng suất và kích thước sản phẩm đầu ra. Cụ thể:

- Xác định một số thông số hình học cơ bản của máy như kích thước buồng cắt phụ thuộc vào số lượng và khe hở giữa các dao cắt;
- Xác định điều kiện bố trí dao cắt thỏa mãn yêu cầu trong một vòng quay của trục thì tất cả các dao cắt đều thực hiện xong một chu kỳ cắt;
- Sử dụng phương pháp trung bình trọng số để tính toán lực cản quá trình cắt của máy làm cơ sở để tính toán công suất động cơ và các thông số về kết cấu của máy.

Tài liệu tham khảo

- [1] Trung tâm thông tin KH&CN Quốc gia. *Chất thải nhựa, túi ni lông và công nghệ xử lý*.
- [2] Phước, N. V. (2008). *Giáo trình quản lý và xử lý chất thải rắn*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [3] Abadzhiev, V., Tonkov, G. (2007). *About the synthesis of technological gears for disintegration processes*. Industrial innovation forum “Machines, technologies, materials”.
- [4] Vatskicheva, M. (2017). *Development of universal recycling machine for crushing of concrete, rubber, plastic and wood*. Defensed Phd thesis, University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia.
- [5] Vatskicheva, M., Grigorova, I. (2017). *Study of two-shaft shredder for crushing of concrete, rubber, plastic and wood*. Journal of International Scientific Publications.
- [6] Fitzgerald, G. C. (2009). *Technical and economic analysis of pre-shredding municipal solid wastes prior to disposal*. Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of Engineering and Applied science Columbia University.
- [7] Bollen, D., Deneir, J., Aernoudt, E., Muylle, W. (1989). [Shear cutting of PET film](#). *Journal of Materials Science*, 24(8):2957–2966.
- [8] Kinloch, A. J., Young, R. J. (1995). *Fracture behaviour of polymers*. Springer Science & Business Media.
- [9] Wu, R.-Y., McCarthy, L. D., Stachurski, Z. H. (1994). [Tearing resistance of multi-layer plastic films](#). *International Journal of Fracture*, 68(2):141–150.
- [10] Chang, L., Guo, W., Tang, Q. (2017). Assessing the tensile shear strength and interfacial bonding mechanism of poplar plywood with high-density polyethylene films as adhesive. *BioResources*, 12(1):571–585.