

XÁC ĐỊNH LỰC VÀ BIÊN DẠNG LƯỖI CẮT TỐI ƯU CHO DỤNG CỤ CẮT CHỈ TÍCH HỢP TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

DETERMINATION OF CUTTING FORCE AND OPTIMAL BLADE PROFILE FOR AN ELECTRICALLY DRIVEN THREAD TRIMMING TOOL

Lê Thị Tâm Thanh

Khoa Dệt may và Thời trang, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 04/12/2025, chấp nhận đăng ngày 25/3/2026

Tóm tắt: Cắt chỉ sau may là bước thiết yếu nhưng khó khăn do lực cắt lớn, phụ thuộc loại chỉ và dụng cụ cắt thủ công kém hiệu quả. Nghiên cứu này xây dựng cơ sở lý thuyết và phân tích ảnh hưởng của hình học lưỡi cắt đến lực cắt của chỉ may công nghiệp. Kết quả cho thấy lực cắt thực tế nằm trong khoảng từ 6 đến 12N tùy theo cấu trúc và vật liệu của sợi. Trên cơ sở đó đề xuất biên dạng lưỡi cắt tối ưu thông số góc sắc 25 đến 30°, bán kính bo mép nhỏ từ 5 đến 8 μm và độ dày lưỡi 0,8 đến 1,2 mm nhằm giảm ma sát và tăng hiệu quả cắt. Mô phỏng bằng phần mềm CAE cho thấy biên dạng đề xuất đã giảm dao động từ 20 đến 30% lực cắt so với lưỡi cắt thông thường, đảm bảo độ bền và phân bố ứng suất hợp lý. Các kết quả này làm nền tảng cho việc thiết kế dụng cụ cắt chỉ, phù hợp với yêu cầu tự động hóa trong công đoạn hoàn thiện sản phẩm.

Từ khóa: Lực cắt chỉ, biên dạng lưỡi cắt, truyền động điện, thiết bị cắt chỉ may, mô phỏng CAD/CAE.

Abstract: Thread trimming after sewing is an essential but challenging step due to the high cutting force, dependence on the thread type and the use of inefficient crude cutting tools. This research establishes a theoretical basis and analyzes the influence of blade geometry on the cutting force of industrial sewing thread. Results show that the actual cutting force ranges from 6 to 12N, depending on the fiber structure and material. Based on these findings, an optimal blade profile is proposed with a sharpness angle of 25 to 30°, a small edge radius of 5 to 8 μm , and a blade thickness of 0,8 to 1,2mm to reduce friction and enhance cutting efficiency. CAE software simulation confirms that the proposed profile reduces cutting force fluctuation by 20 to 30% compared to conventional blades, ensuring adequate durability and reasonable stress distribution. These results lay the foundation for designing integrated thread cutting tools, meeting the automation requirements in the finishing process of garment manufacturing.

Keywords: Thread cutting force, blade profile, electric drive, sewing thread trimming device, CAD/CAE simulation.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong dây chuyền may công nghiệp, công đoạn cắt chỉ sau khi may là bước đảm bảo tính thẩm mỹ, độ sạch đường may và hoàn thiện của sản phẩm. Dù chỉ chiếm tỉ lệ nhỏ về thời gian, thao tác này lại có ảnh hưởng trực tiếp đến hình thức sản phẩm, tỷ lệ lỗi và năng suất

toàn bộ công đoạn hoàn thiện [1]. Hiện nay, phần lớn doanh nghiệp may Việt Nam vẫn sử dụng các dụng cụ cắt thủ công như kéo hoặc dao nhỏ, vốn phụ thuộc nhiều vào kỹ năng người lao động và dễ gây mỏi cơ do các thao tác lặp lại với cường độ cao [2]. Các thiết bị cắt chỉ tự động tích hợp trên máy may tuy đã

xuất hiện nhưng chi phí đầu tư lớn, khó áp dụng cho các cơ sở nhỏ và không phù hợp cho các công đoạn hoàn thiện sau may [3].

Lực cắt và biên dạng lưỡi là hai yếu tố quyết định hiệu quả thao tác. Lực cắt phụ thuộc vào cơ lý tính của vật liệu chỉ như độ bền kéo, cấu trúc sợi, đường kính và mức độ ma sát [1]. Biên dạng gồm góc sắc, bán kính mép và độ dày ảnh hưởng trực tiếp đến ứng suất và lực cắt [3]. Tuy nhiên, các nghiên cứu liên quan tập trung vào dụng cụ cắt trên máy may tự động, cơ cấu cắt trong hệ thống máy chuyên dụng, thiết bị cắt chỉ cầm tay tích hợp động cơ điện là xu hướng và phù hợp với yêu cầu giảm sức lao động, tối ưu thao tác vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ [4].

Bên cạnh đó, việc sử dụng cơ cấu truyền động cơ điện nhỏ gọn càng phổ biến trong tự động hóa công đoạn hoàn thiện sản phẩm may [5]. Các nghiên cứu về cơ cấu kéo và lưỡi cắt chỉ ra rằng việc phối hợp giữa đòn bẩy, lực đàn hồi và biên dạng lưỡi tối ưu làm giảm lực cắt và tăng độ chính xác của thao tác [6]. Một số nghiên cứu trên thế giới cũng yêu cầu cải tiến cơ cấu cắt chỉ để tăng tốc độ cắt và giảm sai lỗi nhưng chưa đề cập đến yêu cầu lực cắt của từng loại chỉ may công nghiệp, mối tương quan giữa mômen truyền động điện và biên dạng lưỡi [7].

Từ những khoảng trống trên, bài báo này tập trung vào việc:

- (1) Xây dựng mô hình tính toán lực cắt chỉ dựa trên đặc tính cơ học của các loại chỉ phổ biến;
- (2) Phân tích các thông số hình học của lưỡi ảnh hưởng đến lực cắt thực tế;
- (3) Đề xuất biên dạng lưỡi tối ưu nhằm giảm lực cắt và phù hợp với thiết bị tích hợp truyền động điện công suất nhỏ.

Kết quả nghiên cứu góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho thiết kế dụng cụ cắt chỉ dư hỗ trợ tự động hóa công đoạn hoàn thiện, nâng cao hiệu suất và giảm áp lực lao động cho ngành may.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Đặc tính cơ lý của chỉ may công nghiệp

Chỉ dư trong may công nghiệp được sản xuất từ polyester (PE), cotton, nylon và poly spun với đường kính từ 0,2 đến 0,5 mm tùy chủng loại. Các đặc tính cơ học của sợi gồm độ bền kéo σ_t , độ giãn dài ε và cấu trúc sợi là những yếu tố quyết định đến lực cần thiết để cắt đứt sợi [1].

Diện tích mặt cắt của sợi chỉ được xác định theo công thức:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

trong đó: d là đường kính sợi. Với σ_t đặc trưng của polyester trong khoảng 400 đến 500 MPa, lực cắt lý thuyết của một sợi chỉ được xác định bằng:

$$F_t = \sigma \cdot A \quad (2)$$

Tuy nhiên, do cấu trúc xoắn, độ xơ bề mặt và ma sát chỉ với lưỡi nên lực cắt luôn thấp hơn lực kéo đứt thuần túy [1], đòi hỏi phải xét đầy đủ các yếu tố giữa vật liệu và biên dạng dụng cụ cắt.

2.2. Cơ chế tạo lực cắt và mô hình lực cắt chỉ

Quá trình cắt chỉ bằng lưỡi kéo là kết quả của cơ chế cắt trượt, lưỡi tạo ứng suất cắt τ lên bề mặt sợi. Khi τ vượt quá khả năng chịu cắt của vật liệu, cấu trúc sợi bị phá hủy và sợi đứt gãy [3].

Do góc lưỡi và độ sắc của mép cắt góp phần tạo ra biến dạng trượt và giảm lực phá hủy,

lực cắt thực tế F_c biểu diễn qua hệ số hiệu chỉnh η :

$$F_c = \eta \cdot F_t \quad (3)$$

trong đó: η phụ thuộc vào góc sắc lưỡi, độ nhẵn mép cắt và ma sát;

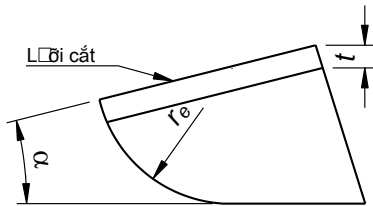
$\eta_{nhỏ} = 0,25 \div 0,35$ ứng với lưỡi sắc, tối ưu hóa lực cắt;

$\eta_{lớn} = 0,5 \div 0,6$ ứng với lưỡi dày, góc lớn, biên dạng cùn [2].

Mặt khác, do tính đàn hồi của sợi may, quá trình cắt nhiều giai đoạn kéo giãn trước khi phá hủy, ảnh hưởng đến giá trị lực cắt thực tế [6].

2.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến lưỡi cắt

Hình học lưỡi cắt đóng vai trò quyết định đến cơ chế hình thành lực cắt. Các thông số chính bao gồm góc sắc α , bán kính mép r và độ dày lưỡi t được minh họa trong Hình 1.



Hình 1. Thông số hình học lưỡi cắt

Từ Hình 1, việc giảm bán kính mép và góc sắc giúp tăng tập trung ứng suất tại vùng tiếp xúc làm giảm lực cắt cần thiết. Ngược lại, độ dày lớn làm tăng ma sát và lực cản cắt.

- Góc sắc (α) quyết định chất lượng đường cắt và lực cắt: Góc sắc $\alpha_{nhỏ} = 20 \div 30^\circ$ tạo ra lưỡi sắc hơn làm lực cắt giảm nhưng mép cắt dễ mòn [3]; góc sắc $\alpha_{nhỏ} = 35 \div 45^\circ$ làm tăng độ bền mép lưỡi nhưng lực cắt tăng đáng kể. Theo các nghiên cứu về cơ cấu cắt sợi và kéo cắt [6], góc $25 \div 30^\circ$ được tối ưu cho vật liệu chỉ dư trong ngành may.

- Bán kính mép r_e càng nhỏ thì ứng suất tập trung tại vùng tiếp xúc càng lớn, giảm lực cắt.

Bán kính mép $r_e \leq 5 \div 8 \mu m$ sẽ phù hợp cho cắt sợi nhỏ; Bán kính mép $r_e > 10 \mu m$ làm ma sát, lực cắt tăng và khó tạo đường cắt sạch.

- Độ dày quá lớn làm tăng diện tích tiếp xúc và lực ma sát, quá nhỏ làm lưỡi kém bền. Giá trị hợp lý cho lưỡi cắt chỉ nằm trong khoảng 0,8 đến 1,2 mm [3].

- Vật liệu lựa chọn SK5 vì có độ cứng cao, khả năng duy trì độ sắc tốt, làm giảm biến dạng mép lưỡi, duy trì giá trị r_e nhỏ trong quá trình sử dụng.

2.4. Cơ cấu kéo cắt và mô hình đòn bẩy

Các dụng cụ cắt dạng kéo hoạt động theo nguyên lý đòn bẩy loại I. Quan hệ giữa lực cắt F_c tại lưỡi và lực tác động F_t tại tay cầm hoặc cơ cấu truyền động được xác định theo:

$$F_t = \frac{F_c \cdot l_c}{l_t} \quad (4)$$

trong đó: l_c là cánh tay đòn phía lưỡi; l_t là cánh tay đòn phía tay cầm; Khi $l_t > l_c$, lực cần thiết [6]. Điều này rất quan trọng khi thiết bị sử dụng động cơ công suất nhỏ ($< 20 W$).

2.5. Mối tương quan mômen và lực cắt

Thiết bị cắt chỉ tích hợp truyền động điện sử dụng động cơ DC mini, có đặc tính:

- Tốc độ 3.000 ÷ 15.000 rpm;
- Mômen 0,01 ÷ 0,05 Nm;
- Kích thước nhỏ gọn, dễ điều khiển [5].

Mômen motor phải đáp ứng:

$$M = F_c \cdot r \quad (5)$$

trong đó: r là bán kính cam hoặc bánh răng truyền lực.

Việc tối ưu hóa lưỡi cắt và mô hình đòn bẩy nhằm giảm F_t là điều kiện tiên quyết để motor làm việc ổn định, không quá tải.

3. TÍNH TOÁN LỰC CẮT CHỈ MAY

3.1. Các thông số cơ bản

Các loại chỉ thường sử dụng trong ngành may công nghiệp (Bảng 1).

Bảng 1. Một số thông số chỉ may [1, 6]

Loại chỉ	Ký hiệu	d (mm)	σ_t (MPa)
PE 40/2	Chỉ 1	0,25	450
PE 60/3	Chỉ 2	0,30	450
Poly spun	Chỉ 3	0,32	420
Chỉ Jeans	Chỉ 4	0,40	480

3.2. Lực phá hủy lý thuyết của sợi chỉ

Diện tích mặt cắt ngang của sợi chỉ được tính theo công thức (1); lực phá hủy lý thuyết được xác định bởi (3).

Các giá trị lực phá hủy lý thuyết được tính toán và tổng hợp trong Bảng 2 dựa trên đường kính sợi và giới hạn bền kéo của vật liệu theo các tài liệu [1], [6], đồng thời kiểm chứng với dữ liệu thực nghiệm từ nghiên cứu [3].

Bảng 2. Lực phá hủy lý thuyết của sợi chỉ [1]

Chỉ	d (mm)	A (mm ²)	σ_t (MPa)	$F_{c,ly\ thuyet}$ (N)
1	0,25	0,049	450	22,1
2	0,30	0,071	450	31,9
3	0,32	0,080	420	33,6
4	0,40	0,126	480	60,6

3.3. Lực cắt và hệ số hiệu chỉnh η

Lực cắt thực tế $F_{c,thuc}$ nhỏ hơn lực phá hủy lý thuyết được thể hiện qua hệ số hiệu chỉnh η [3]:

$$F_t = \eta F_c$$

trong đó:

- Khi $0,25 \leq \eta \leq 0,60$ tùy thuộc vào góc sắc lưỡi α , bán kính mép r_e , độ nhẵn bề mặt và chế độ cắt ;

- Hệ số η nhỏ tương ứng với lưỡi sắc, góc cắt nhỏ, ma sát thấp;

- Hệ số η lớn khi lưỡi tù, góc cắt lớn hoặc mặt lưỡi thô.

Dựa trên các kết quả thực nghiệm trong các nghiên cứu về lực cắt sợi và dụng cụ cắt [3], [6] lựa chọn khoảng:

- Lưỡi cắt tối ưu: $\eta = 0,25 \div 0,35$;
- Lưỡi cắt thông thường: $\eta = 0,40 \div 0,50$.

Lực cắt cho các loại chỉ với $\eta = 0,30$ (lưỡi cắt tối ưu) ở Bảng 3.

Bảng 3. Lực cắt của lưỡi cắt tối ưu

Loại chỉ	$F_{c,ly\ thuyet}$ (N)	η	$F_{c,thuc}$ (N)
Chỉ 1	22,1	0,30	6,6
Chỉ 2	31,9	0,30	9,6
Chỉ 3	33,6	0,30	10,1
Chỉ 4	60,6	0,30	18,2

Đối với các loại chỉ phổ biến (chỉ 1÷3), lực cắt nằm trong khoảng 6÷10 N khi sử dụng lưỡi cắt tối ưu.

3.4. Ảnh hưởng hình học của lưỡi cắt

Các nghiên cứu về dụng cụ cắt đã chỉ ra hình học lưỡi (góc sắc, độ dày, bán kính bo mép) ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số η [3], [6] với các xu hướng chính:

- Góc sắc α giảm từ 35° xuống 25° thì lực cắt giảm nhờ tăng thành phần trượt trên mặt lưỡi;
- Bán kính mép r_e giảm xuống $5 \div 8 \mu\text{m}$ sẽ tăng tập trung ứng suất làm giảm lực khởi cắt;
- Độ dày lưỡi t giảm từ 1,5 xuống 1,0 mm sẽ giảm diện tích ma sát làm giảm lực cắt.

Dải hình học lưỡi cắt tối ưu khi cắt chỉ dư:

- Góc sắc $\alpha = 25 \div 30^\circ$;
- Bán kính mép $r_e = 5 \div 8 \mu\text{m}$;

- Độ dày lưỡi $t = 0,8 \div 1,2$ mm.

Với biên dạng và vật liệu SK5 thì hệ số η duy trì ở mức $0,25 \div 0,30$, giảm 20 đến 30% lực cắt so với lưỡi thông thường.

3.5. Xác định lực cắt của dụng cụ cắt

Lực cắt cần dùng cho dụng cụ cắt chỉ 1, chỉ 2 và chỉ 3:

$$F_{c, TK} = 10 \div 12 \text{ N}$$

Lực cắt cần dùng cho dụng cụ cắt chỉ 4:

$$F_{c, TK} = 18 \div 20 \text{ N}$$

Các giá trị này làm cơ sở để tính toán tiếp theo cho cơ cấu đòn bẩy, lựa chọn lò xo đàn hồi và xác định mômen cần thiết của động cơ điện trong các phần tiếp theo.

Với dải lực cắt từ $6 \div 18$ N, mômen yêu cầu của hệ truyền động được xác định theo (5). Điều này cho phép lựa chọn động cơ DC mini có mômen từ $0,02 \div 0,05$ Nm đảm bảo thiết bị hoạt động ổn định mà không quá tải.

4. TỐI ƯU BIÊN DẠNG LƯỖI CẮT

4.1. Xác định các thông số cơ bản

Theo các tài liệu [3], [2] biên dạng lưỡi cắt được lựa chọn:

- Góc sắc α : $20 \div 35^\circ$;
- Độ dày t : $0,8 \div 1,5$ mm;
- Bán kính mép r_e : $5 \div 12$ μm ;
- Chiều dài lưỡi cắt L : $20 \div 30$ mm.

4.2. Biên dạng lưỡi cắt và hệ số η

Lực cắt được xác định theo:

$$F_{c, thực} = \eta F_{c, lý thuyết}$$

trong đó: η là hàm của (α , r_e , t , φ trạng thái ma sát). Cho phép đưa $\eta = 0,25 \div 0,30$ đối với các loại chỉ may giảm lực cắt xuống khoảng 6 đến 10N cho PE 40/2 và 60/3.

Bảng 4. Giá trị của bộ thông số α , r_e , t

Thông số	Kí hiệu	Giá trị
Góc sắc	α	$25 \div 30^\circ$
Độ dày	t	$0,8 \div 1,2$ mm
Bán kính mép	r_e	$5 \div 8$ μm

Với dải lực cắt từ $6 \div 18$ N, mômen yêu cầu của hệ truyền động được xác định theo (5). Điều này cho phép lựa chọn động cơ DC mini có mômen từ $0,02 \div 0,05$ Nm đảm bảo thiết bị hoạt động ổn định không bị quá tải.

4.3. Mô phỏng ứng suất và biến dạng

Để kiểm tra độ bền và phân bố ứng suất trên lưỡi cắt, mô hình 3D được xây dựng và mô phỏng với các điều kiện biên (Hình 2).

Các kết quả mô phỏng:

- Phân bố ứng suất Von Mises trên thân và mép lưỡi;
- Biến dạng cực đại tại vùng mép;
- Vùng tập trung ứng suất cần được bo cong hoặc gia cường.



Hình 2. Mô phỏng 3D của lưỡi cắt

4.4. Thu thập số liệu và xử lý

Trong nghiên cứu này, khảo sát ba thông số ảnh hưởng đến lực cắt (F_T): Góc sắc lưỡi (α), độ dày lưỡi (t) và Bán kính mép (r_e) với 3 mức độ trong Bảng 5. Do đó, tiêu chí "nhỏ hơn là tốt hơn" đã được chọn có công thức:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \right] \quad (6)$$

trong đó: $\sum_{i=1}^n y_i^2$ là tổng bình phương các kết quả cho mỗi thí nghiệm và n là số lần lặp lại của thí nghiệm.

Bảng 5. Các mức độ của bộ thông số đề xuất tối ưu

TT	Tham số	Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	Góc sắc lưỡi (α)	25,0	27,5	30,0
2	Độ dày lưỡi (t , mm)	0,8	1,0	1,2
3	Bán kính mép (r_e , μ m)	5,0	6,5	8,0

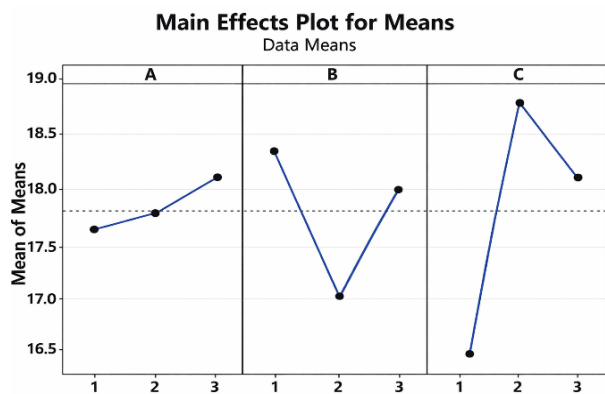
Thiết kế thí nghiệm sử dụng phương pháp mảng trực giao và tính toán tỷ lệ S/N (theo công thức 1) Taguchi L9, được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Giá trị lực cắt và tỷ lệ S/N

TT	Ma trận thí nghiệm			F_T	S/N
	α	t	r_e		
1	1	1	1	6,5	16,256
2	1	2	2	8,4	18,485
3	1	3	3	7,9	17,954
4	2	1	2	9,1	19,180
5	2	2	3	6,9	16,777
6	2	3	1	7,2	17,146
7	3	1	3	9,5	19,555
8	3	2	1	6,2	15,849
9	3	3	2	8,7	18,789

Các thông số tối ưu của lưỡi cắt cho lực cắt là nhỏ nhất được tiến hành việc tính toán tỷ lệ S/N, bảng giá trị được sử dụng và phân tích

ảnh hưởng trên phần mềm thống kê Minitab thể hiện trong biểu đồ ở Hình 3, cho thấy góc sắc lưỡi (α) ở mức 1, độ dày lưỡi (t) ở mức 2 và bán kính mép (r_e) ở mức 1.



Hình 3. Ảnh hưởng của các mức

5. KẾT LUẬN

Kết quả phân tích lý thuyết, mô phỏng và biểu đồ thực nghiệm cho thấy:

- Đã mô phỏng ứng suất và biến dạng lưỡi cắt trên phần mềm CAD với các giá trị lực cắt đầu vào $F_c = 6 \div 12$ N cho các loại chỉ thường và $F_c = 18$ N cho chỉ 4.
- Xác định góc sắc từ 35° xuống 25° làm lực cắt giảm khoảng $15 \div 20\%$. Tuy nhiên, không nên chọn góc $\alpha < 20$ vì điều này sẽ làm giảm đáng kể độ bền của mép lưỡi.
- Khi chọn r_e nhỏ từ $5 \div 8$ μ m làm tăng tập trung ứng suất cắt và giảm lực cắt ban đầu. Ngược lại, nếu $r_e \geq 10$ μ m sẽ làm giảm đáng kể hiệu quả cắt khi vật liệu cần cắt có độ dày cao.
- Giá trị độ dày $t = 1,0 \pm 0,2$ mm đạt được sự tối ưu giữa độ cứng và ma sát trong quá trình cắt.
- Các thông số tối ưu cho biên dạng lưỡi cắt: $\alpha = 25^\circ$, $t = 1,0$ mm, $r_e = 5$ μ m, $L = 20 \div 25$ mm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trung Thu, *Vật liệu dẹt*, NXB Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, 1990.

- [2] Bridger, R.S, *Introduction to Ergonomics* (3rd ed.), CRC Press, 2017.
- [3] Lê Hồng Lĩnh, Nguyễn Ngọc Định, “Nghiên cứu ảnh hưởng của góc sắc và vật liệu lưỡi cắt đến lực cắt và tuổi thọ dụng cụ cắt”, *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, số 8/2016, 2016.
- [4] Nguyễn Văn Đoàn, “Kỹ thuật Thiết kế Công thái học trong dụng cụ cầm tay”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Đại học Công nghiệp Hà Nội, 2019.
- [5] Feray Maden, Koray Korkmaz & Yenel Akgun, “A review of planar scissor structural mechanisms: geometric principles and design methods”, *Architectural Science Review*, 54, 246–257, 2011.
- [6] Yuri Novikov & Stas Krasner, “Optimization of the parameters of the sewing thread cutting process”, *Annual Journal Technical University of Varna*, Vol. 4 (1), 2020.
- [7] Mario Portilla, *Automated thread trimming apparatus for sewing machines*, United States Patent, 1983.

Thông tin liên hệ: **Lê Thị Tâm Thanh**

Điện thoại: 0986456559 - Email: ltt@uneti.edu.vn

Khoa Dệt may và Thời trang, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp