

# NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC GIA CÔNG TRÊN PHẦN MỀM SIMULIA ABAQUS

SIMULATION AND ANALYSIS THE MACHINING DYNAMIC ON SIMULIA ABAQUS

Nguyễn Thành Công<sup>1</sup>, Nguyễn Duy Khánh<sup>1</sup>,  
Nguyễn Xuân Trường<sup>1</sup>, Hoàng Tiến Dũng<sup>2,\*</sup>

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này hướng tới việc xây dựng mô hình số hóa của quá trình gia công bằng giao phay ngón liên khối, mô phỏng quá trình phay và so sánh với kết quả thực nghiệm. Từ đó khảo sát được ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt và vật liệu như: lực cắt, ứng suất,... đồng thời thể hiện được tác động của điều kiện cắt gọt tới kết quả của quá trình cắt. Phân tích và đánh giá được xu hướng xảy ra trong quá trình cắt giữa thực tế thực nghiệm và quá trình mô phỏng, từ đó khẳng định độ tin cậy của mô phỏng gia công cắt gọt bằng phần mềm Simulia Abaqus.

**Từ khóa:** Mô phỏng, CAE, động lực học, Abaqus.

## ABSTRACT

This research aims to build a digital model of the machining process by end mill tool, simulating the milling process and comparing it with the experimental results. From that, survey the influence of the cutting parameter and materials such as shear force, stress,... and express the impact of boundary conditions on the results of the cutting process. The analysis and evaluation of the trend occurred during the cutting process between experimental practice and simulation process, thereby confirming the reliability of cutting machining simulation with Simulia Abaqus.

**Keywords:** Simulation, CAE, dynamic, Abaqus.

<sup>1</sup>Lớp Cơ khí CLC1-K10, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: tiendunghai@gmail.com

## 1. GIỚI THIỆU

Trong nền sản xuất cơ khí ngày nay việc sử dụng máy vi tính như công cụ hỗ trợ rất phổ biến và ngày càng chứng minh được sự ưu việt so với các phương pháp sản xuất truyền thống. Việc sử dụng máy vi tính hỗ trợ con người từ thiết kế, mô phỏng đến điều khiển chính xác máy móc trong gia công. Trong quy trình sản xuất cơ khí ngày nay việc kiểm nghiệm các bài toán ảo dưới sự trợ giúp của máy vi tính (CAE) được sử dụng khá rộng rãi trước khi được mang ra thực tế sản xuất.

Việc ứng dụng các công cụ CAE vào sản xuất và gia công cơ khí sẽ giúp giảm thiểu đáng kể thời gian cũng như chi phí cho các khâu từ thiết kế tới sản xuất gia công. Các công cụ CAE giúp các nhà thiết kế kiểm nghiệm được thiết

kế của mình cũng như đưa ra phương án tối ưu hóa cho thiết kế nhờ vào các công cụ đánh giá cũng như là tinh chỉnh thiết kế. Việc sử dụng CAE như một công đoạn trong thiết kế và sản xuất về lâu dài sẽ cải thiện thiết kế sâu rộng nhờ vào cơ sở dữ liệu thiết kế. CAE cũng có khả năng kiểm nghiệm trước khi đưa ra sản xuất thực tế nên góp phần to lớn đảm bảo toàn cho bộ phận kỹ thuật.

Hơn nữa việc mô phỏng phân tích cũng mang đến một góc nhìn mới trực quan hơn cho người dùng về quá trình phay kim loại. Thông qua kết quả mô phỏng ta có thể thấy được sự thay đổi và tác động qua lại giữa các yếu tố, sự thay đổi và xu hướng của các quá trình trong đó sự thay đổi về động lực là mối quan tâm lớn của các nhà công nghệ cũng như các nhà sản xuất chế tạo trong nền sản xuất cơ khí.

Hiện nay, trên thế giới có khá nhiều giải pháp về CAE được sử dụng trong ngành sản xuất cơ khí. Với mô hình được xây dựng dựa trên lý thuyết phương pháp phần tử hữu hạn thì Simulia Abaqus (hay gọi tắt là Abaqus) là một công cụ CAE khá mạnh trong mô phỏng và phân tích về động lực học sẽ giúp giải quyết vấn đề với độ chính xác và tin cậy cao.

## 2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu thực hiện trên sơ sở kết hợp giữa các nghiên cứu lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm.

Số liệu thực nghiệm được nhóm nghiên cứu trích dẫn trong các tài liệu và bài báo khoa học đã công bố.

Nghiên cứu sử dụng lý thuyết về quá trình cắt như: lực cắt, nhiệt cắt, ứng suất, chuyển vị... ngoài ra còn lý thuyết về phương pháp phần tử hữu hạn và nguyên lý các phần mềm CAE nói chung và phần mềm Simulia Abaqus nói riêng, cùng với kết quả từ các thí nghiệm thực tế.

## 3. QUÁ TRÌNH XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG

### 3.1. Mô hình vật liệu

Vai trò chính của mô hình phá hủy vật liệu là xác định thời điểm xuất hiện vết gãy và mức độ biến dạng của vật liệu tại vị trí đó. Mô hình phá hủy được sử dụng như một công cụ hữu hiệu trong các phần mềm mô phỏng số. Chúng được sử dụng để nghiên cứu dự báo phá hủy vật liệu nhằm mục đích tối ưu hóa quá trình sản xuất thực tế.

Johnson-Cook (1993) phát triển mô hình vật liệu dựa trên thanh đo lực Hopkinson trên tốc độ biến dạng và nhiệt độ. Các tham số cần xác định của mô hình J-C bao gồm tham số vật liệu và tham số phá hủy. Phương trình cấu trúc vật liệu được thành lập cho bằng phương trình:

$$\sigma = (A + B\epsilon^n) \left( 1 + C \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \left( 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right) \quad (1)$$

Trong phương trình dấu ngoặc đầu tiên đại diện là tham số biến dạng dẻo và sự biến cứng của vật liệu. Ngoặc thứ hai là đại diện cho giới hạn độ dai và cho thấy dòng chảy ứng suất vật liệu tăng lên khi chịu tốc độ biến dạng cao. Ngoặc thứ ba là đại diện cho nhiệt độ làm mềm vật liệu.

Mô hình phá hủy của J-C có sự kết hợp của các tham số biến cứng, tốc độ biến dạng và cả các tham số về nhiệt độ. Tham số phá hủy được xác định theo phương trình sau:

$$D = \sum \frac{\Delta \epsilon^{-p_l}}{\Delta \epsilon_f^{-p_l}} \quad (2)$$

Vật liệu phá hủy khi  $D \geq 1$ , trong đó:  $\Delta \epsilon^{-p_l}$  là gia tốc của biến dạng dẻo tương đương;  $\Delta \epsilon_f^{-p_l}$  là biến dạng tương đương tại thời điểm phá hủy và được xác định theo công thức:

$$\epsilon_f^{-p_l} = [D_1 + D_2 \exp(D_3 \eta)] \left[ 1 + D_4 \ln \left( \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[ 1 + D_5 \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (3)$$

Trong đó:  $D_1 - D_5$  là các hằng số phá hủy được xác định bằng thực nghiệm;  $\eta$  là một tỷ lệ không thứ nguyên của giá trị trung bình của ứng suất thường và ứng suất tương đương VonMises và  $\eta = \sigma_h / \bar{\sigma}$  ( $\sigma$  là giá trị trung bình của ba ứng suất thường;  $\bar{\sigma}$  là ứng suất tương đương Von-Mises), hệ số này được xác định như sau:

$$\eta = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3}{\sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}} \quad (4)$$

Với  $\sigma_1, \sigma_2$  và  $\sigma_3$  là các ứng suất cơ bản.

Bảng 1. Bảng thông số mô hình cấu trúc vật liệu

Thông số	A (Mpa)	B (Mpa)	C	n	m	T <sub>melt</sub>	T <sub>ref</sub>
A6061	270	190	0,02	0,3	0,34	885	298
A6061-T6	324,1	113,8	0,002	0,42	1,34	885	298
C45	203	1260	0,03	0,43	0,9	1793	298
C30	792	510	0,014	0,26	1,03	1793	298
Ti6Al4V	1098	1092	0,015	0,93	1,1	1560	298

Bảng 2. Bảng thông số mô hình phá hủy vật liệu

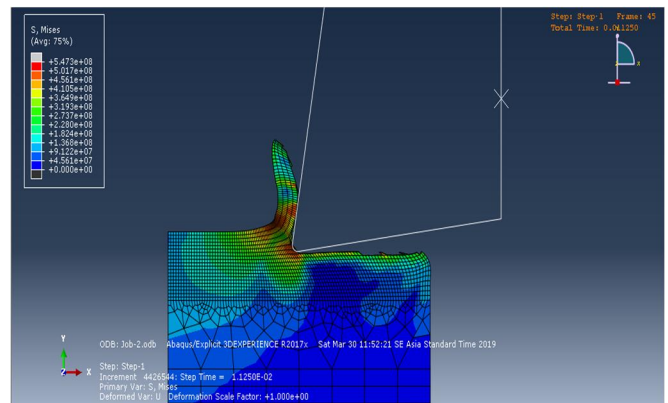
Thông số	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
A6061	-0,77	1,45	-0,47	-	-
A6061-T6	-0,77	1,45	0,47	-	1,6
C45	0,05	3,44	2,12	0,002	0,63
C30	0,05	3,44	2,12	0,002	0,61
Ti6Al4V	-0,09	0,25	0,5	0,04	3,87

### 3.2. Mô hình cắt gọt 2D

Nhóm nghiên cứu mô phỏng thí nghiệm trên với phôi là vật liệu Al6061, với các thông số vật liệu cơ bản và các thông số của mô hình vật liệu và mô hình phá hủy vật liệu lấy trong bảng 1 và 2.

Va chạm được định nghĩa theo kiểu va chạm mặt - chạm - mặt.

Điều kiện biên: Phôi được cố định 3 bậc tự do, dao được hạn chế 2 bậc tự do và chuyển động tịnh tiến theo phương (-X).



Hình 1. Mô hình cắt gọt 2D

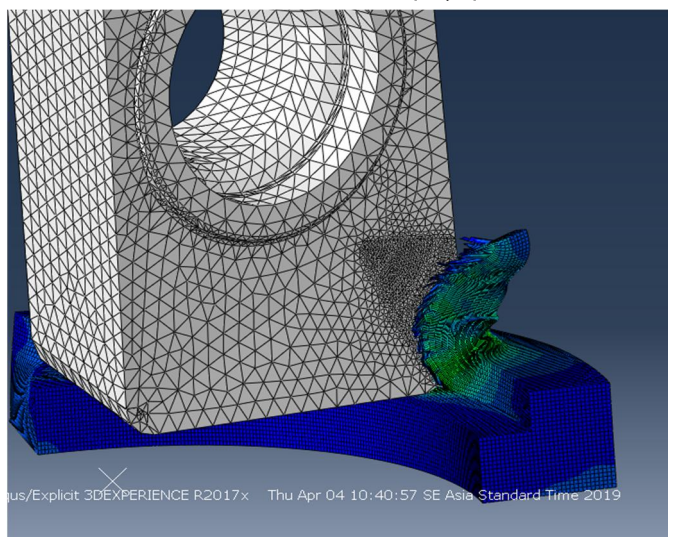
### 3.3. Mô hình cắt gọt một me cắt 3D

Trên cơ sở của mô hình cắt gọt 2D, nhóm phát triển lên mô hình cắt gọt một me cắt dạng 3D. Dựa trên me cắt thực tế, dựng lại mô hình me cắt để đưa vào mô phỏng. Lựa chọn phôi cắt có vật liệu là thép C45 có các thông số đầu vào lấy trong bảng 1 và 2.

Va chạm được định nghĩa theo kiểu va chạm mặt - chạm - mặt.

Phôi được hạn chế 6 bậc tự do.

Dụng cụ cắt được gán vào điểm RP (Reference Point) dưới một ràng buộc dạng khớp nối (Coupling). Điểm RP hạn chế 5 bậc tự do, chỉ còn lại bậc tự do quay quanh trục Y.



Hình 2. Mô hình cắt gọt một me cắt

**3.4. Mô hình cắt gọt dao phay ngón 3D**

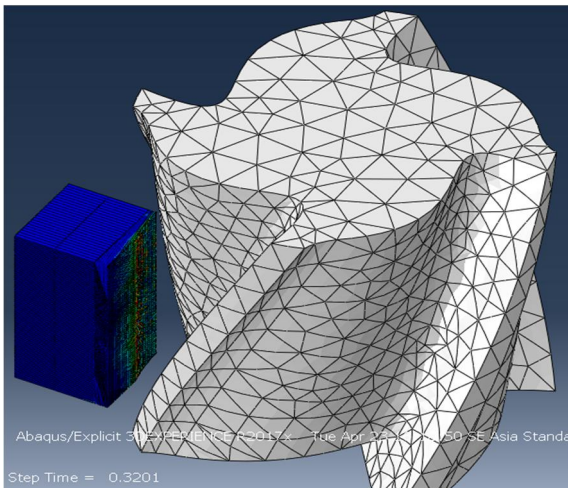
Từ nền tảng là mô hình cắt gọt 2D và kinh nghiệm tích góp được khi xây dựng mô hình cắt gọt một me cắt 3D, nhóm nghiên cứu đã tiếp tục tìm tòi và nghiên cứu và tiến tới xây dựng được mô hình cắt gọt dao phay ngón 3D. Các thông số đầu vào về vật liệu, định nghĩa,... tương tự như khi xây dựng mô hình với một me cắt.

Sử dụng dao phay ngón khối hợp kim. Cắt được thép có độ cứng < 48 HRC, đường kính dao D = 20mm, số lưỡi cắt: 4, góc nghiêng dao 30 độ.

- Chiều sâu cắt hướng kính:  $a_r = 0,3\text{mm}$ .
- Chiều sâu cắt hướng trục:  $t = 10\text{mm}$ .

Phôi có kích thước 70x70x40mm. Vật liệu phôi là thép C45.

Tuy nhiên để thuận tiện trong quá trình mô phỏng, cũng như để giảm thời gian mô phỏng, ta sẽ chỉ xét tới phần tiếp xúc giữa dụng cụ cắt.



Hình 3. Mô hình cắt gọt với dao phay ngón 3D

**4. PHÂN TÍCH ĐÁNH GIÁ MÔ HÌNH CẮT GỌT DAO PHAY NGÓN 3D**

**4.1. Số liệu thực nghiệm**

Để kiểm chứng độ tin cậy của quá trình mô phỏng cắt gọt, nhóm nghiên cứu sẽ so sánh số liệu từ thí nghiệm thực nghiệm với số liệu đầu ra của mô phỏng. Do chưa có điều kiện làm trực tiếp thí nghiệm, nhóm nghiên cứu đã lấy số liệu của thí nghiệm từ bài báo khoa học: “Dự đoán ảnh hưởng của chế độ cắt và góc dao đến lực cắt khi phay bằng dao phay ngón liên khối” đã được công bố để tiến hành kiểm chứng.

Thông số thực nghiệm của các thí nghiệm cho như trong bảng 3.

Bảng 3. Thông số đầu vào

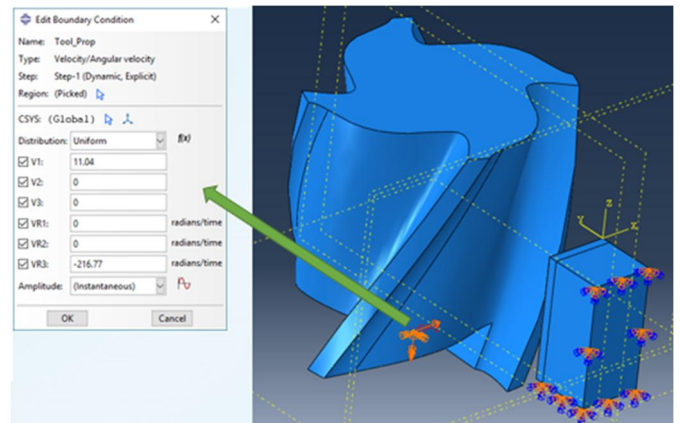
STT	Tốc độ cắt $v_c$ (m/min)	Lượng chạy dao $f_z$ (mm/r)	Chiều sâu cắt theo phương hướng kính $a_r$ (mm)	Góc xoắn $\beta$
1	60	0,01	0,1	15
2	200	0,01	0,1	15
3	60	0,15	0,1	15

4	200	0,15	0,1	15
5	60	0,01	0,5	15
6	200	0,01	0,5	15
7	60	0,15	0,5	15
8	200	0,15	0,5	15
9	60	0,01	0,1	45
10	200	0,01	0,1	45
11	60	0,15	0,1	45
12	200	0,15	0,1	45
13	60	0,01	0,5	45
14	200	0,01	0,5	45
15	60	0,15	0,5	45
16	200	0,15	0,5	45
17	130	0,08	0,3	30

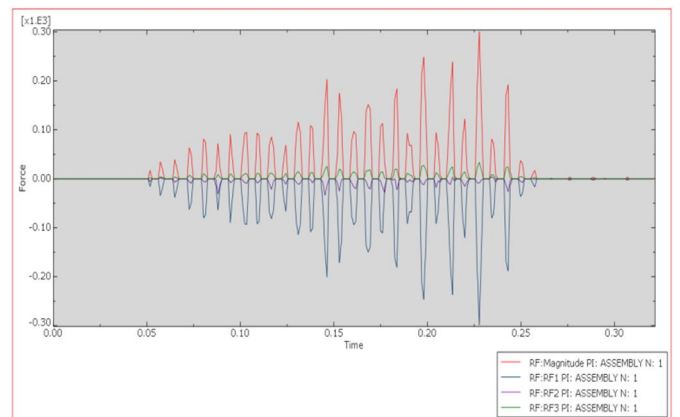
**4.2. Tiến hành mô phỏng**

Thực hiện xây dựng mô hình mô phỏng từ 17 thông số đầu vào, nhóm nghiên cứu đưa ra mô hình mẫu cho 1 thí nghiệm, các thí nghiệm khác sẽ thực hiện tương tự:

Xét thí nghiệm số 17, có:  $a_r = 0,3\text{mm}$ ,  $\beta = 30^\circ$ ,  $V_c = 130\text{m/ph}$ ,  $f_z = 0,08\text{mm/r}$ , tương ứng với:  $S = 2070\text{vg/ph} = 216,77\text{rad/s}$ ;  $F = 662,42\text{mm/ph} = 11,04\text{mm/s}$ .



Hình 4. Cài đặt thông số chế độ cắt



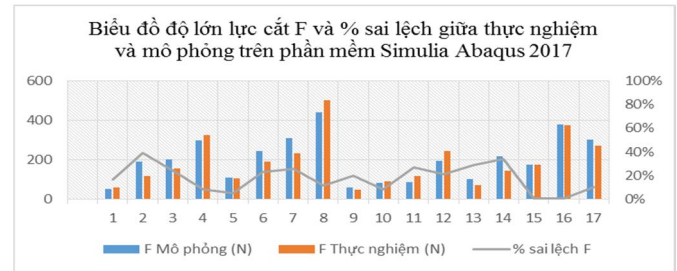
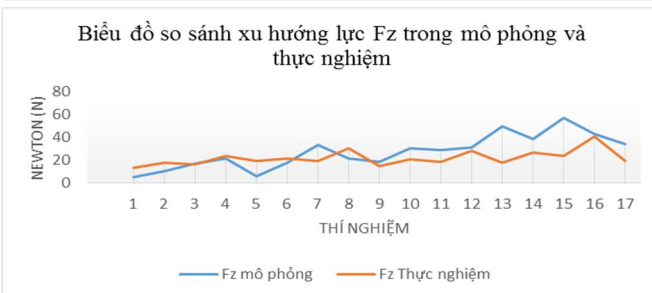
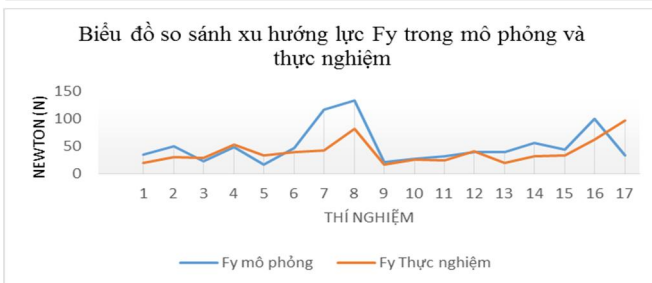
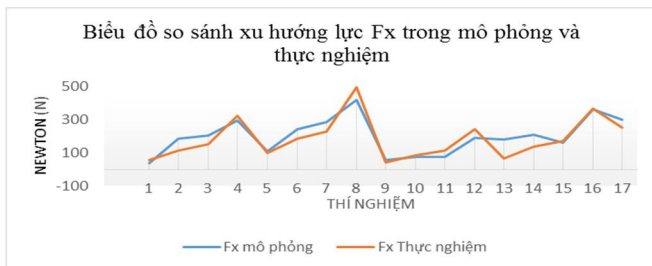
Hình 5. Biểu đồ lực xuất từ Abaqus cho thí nghiệm 17

Sau khi tiến hành thực hiện mô phỏng 17 thí nghiệm theo số liệu của thực nghiệm, ta thu được bảng thông số kết quả như bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thu được

TN	Fx		Fy		Fz	
	Thực nghiệm	Mô phỏng	Thực nghiệm	Mô phỏng	Thực nghiệm	Mô phỏng
1	55,7	35,76	19,3	35,24	13,4	5,56
2	111,5	184,3	30,7	48,9	17,5	10,81
3	150,2	201,25	29	21,8	16	17,34
4	321,2	293,7	52,1	48,59	23,4	21,35
5	97,8	109,61	33,3	15,91	19,2	5,9
6	182,9	239,67	39,5	46,23	21,5	17,71
7	227	285,89	41,9	116,37	19,3	33,08
8	492,2	419,82	80,9	132,33	30,7	21,3
9	43,8	54,75	16,9	21,07	14,9	18,84
10	85,2	73,31	25,3	27,45	20,9	30,12
11	113,7	74,64	24	31,87	18,3	28,69
12	240,5	187,79	41,2	38,52	28,4	30,89
13	67,6	180,18	19,8	38,74	17,5	49,6
14	138,1	207,36	31,9	56,27	26,6	38,44
15	170,7	161,07	33,6	44,16	23,7	57,2
16	367,2	362,36	62,5	99,58	40,5	42,7
17	252,3	298,71	96	33,76	19,1	33,9

5. KẾT QUẢ



Từ bảng số liệu thu được nhóm nghiên cứu tiến hành đưa dữ liệu vào Microsoft Exel để xử lý dữ liệu. Bằng cách sử dụng phần mềm, ta có được các biểu đồ lực.

6. KẾT LUẬN

Xu hướng của lực cắt giữa mô phỏng và thực nghiệm là tương đồng.

Giá trị độ lớn của lực giữa mô phỏng và thực nghiệm là tương đối đồng đều, tuy nhiên lại chưa có sự ổn định khi có những thí nghiệm sai lệch lên tới 60% nhưng lại có thí nghiệm gần như không có sai lệch.

Mô hình mô phỏng mà nhóm nghiên cứu xây dựng chưa xét tới một số yếu tố liên quan trực tiếp tới lực cắt, như: sự thay đổi về nhiệt độ trong quá trình cắt, độ cứng vững của hệ thống công nghệ (trong bài mô phỏng, giả định là cứng vững hoàn toàn không có rung động)... không những thế, để tăng tốc thời gian mô phỏng, nhóm nghiên cứu đã coi dụng cụ cắt là một vật thể cứng (không bị biến dạng trong quá trình mô phỏng), cũng như công đoạn chia lưới còn nhiều khiếm khuyết, chưa tối ưu,...

Vì những lý do trên, nên việc thu được kết quả có những sai lệch là nằm trong dự đoán của nhóm nghiên cứu. Tuy nhiên, việc khắc phục những sai lệch là hoàn toàn có thể trong những nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phùng Xuân Sơn, Trần Đức Quý, Phạm Văn Bồng, Nguyễn Duy Trinh, Nguyễn Chí Tâm, 2016. *Giáo trình Nguyên lý cắt*. Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.
- [2]. Hoàng Tiến Dũng, Nguyễn Văn Thiện, Phạm Văn Trinh, Phạm Thị Thiệu Thoa, 2016. *Dự đoán ảnh hưởng của chế độ cắt và góc dao đến lực cắt khi phay bằng dao phay ngón liên khối*. Tạp chí Khoa học & Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.
- [3]. *Phương pháp phần tử hữu hạn*. Wikipedia. [Online] [https://vi.wikipedia.org/wiki/Phương\\_pháp\\_phần\\_tử\\_hữu\\_hạn](https://vi.wikipedia.org/wiki/Phương_pháp_phần_tử_hữu_hạn).
- [4]. Markopoulos, Angelos P. *Finite Element Method in Machining Processes*.
- [5]. Phạm Thị Hoa, 2013. *Nghiên cứu quá trình tạo phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061*. Hà Nội.
- [6]. Liu J, Bai Y, Xu C., 2013. *Evaluation of Ductile Fracture Models in Finite Element Simulation of Metal Cutting Processes*. J Manuf Sci Eng.
- [7]. Chen G, Ren C, Jin X, Guo T., 2011. *Finite element simulation of high-speed machining of titanium alloy (Ti-6Al-4V) based on ductile failure model*. Int J Adv Manuf Technol.
- [8]. Mabrouki T, Girardin F, Asad M., 2008. *Numerical and experimental study of dry cutting for an aeronautic aluminium alloy (A2024-T351)*. Int J Mach Tools Manuf.
- [9]. Mohanraj Murugesan, Dong Won Jung, 2019. *Johnson Cook Material and Failure Model Parameters Estimation of AISI-1045 Medium Carbon Steel for Metal Forming Applications*.