

Khảo sát dao động hệ thống khoan nòng súng bằng phương pháp Gun drilling

Investigating the vibration of the deep hole drilling system using gun drilling method

Dương Quốc Dũng¹, Trần Quang Dũng^{1,*}, Chu Việt Hùng²

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự

²Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

*Email: tranquangdung79@gmail.com

Mobile: 016 66 22 33 79

Tóm tắt

Từ khóa:

Khoan lỗ sâu; Nòng súng; Gun Drilling; Dao động; Độ lệch tâm.

Dao động của hệ thống khoan lỗ sâu là một hiện tượng tương đối phức tạp và ảnh hưởng lớn đến chất lượng lỗ sau khi khoan. Bài báo khảo sát dao động của hệ thống khoan lỗ sâu khi khoan nòng súng với đường kính $d = 22\text{mm}$ bằng phương pháp Gun drilling. Bài toán dao động riêng và dao động uốn của mũi khoan với các chiều sâu khoan khác nhau được khảo sát bằng cách sử dụng phần mềm ANSYS Workbench. Các kết quả nghiên cứu có thể áp dụng cho việc thiết kế chế tạo thiết bị khoan nòng súng tại Việt Nam.

Abstract

Keywords:

Deep hole drilling; Gun Barrel; Vibrations; Gun Drilling; Misalignment.

The vibration of the deep hole drilling system is a complex phenomenon and affects the hole quality after drilling. This paper investigated vibration of the system while drilling the gun barrel with diameter of 22 mm by Gun drilling method. The natural and bending vibration of the drill at different drilling depths were studied using ANSYS Workbench. The results could be applied to design and manufacture gun barrel drilling equipments in Vietnam.

Ngày nhận bài: 01/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 07/9/2018

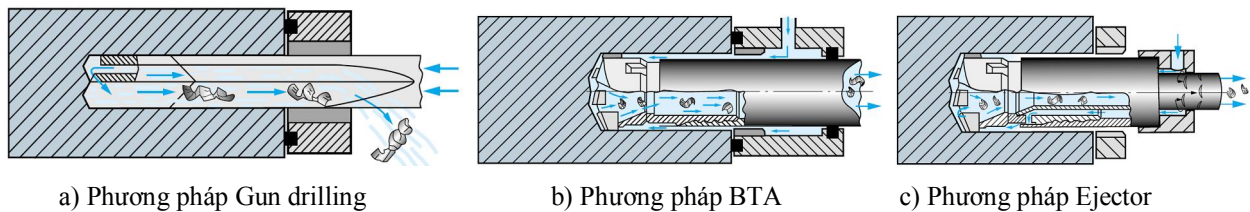
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Khoan lỗ sâu là một phương pháp gia công các lỗ có tỷ lệ giữa chiều dài L và đường kính d tương đối lớn, thường $L/d = 10 \div 100$. Công nghệ khoan lỗ sâu được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực công nghiệp như đóng tàu, hàng không vũ trụ, khuôn mẫu, dầu khí... Đặc biệt là trong lĩnh vực quân sự thì công nghệ khoan lỗ sâu được ứng dụng rộng rãi trong chế tạo nòng súng pháo - một trong những chi tiết quan trọng nhất trong công nghệ sản xuất vũ khí.

Các phương pháp khoan lỗ sâu phổ biến hiện đang sử dụng trên thế giới gồm: phương pháp khoan nòng súng Gun drilling, phương pháp khoan BTA (Boring and Trepanning

Association) hay STS (Single Tube System) và phương pháp khoan Ejector (hình 1). Sự khác biệt chủ yếu giữa các phương pháp khoan lỗ sâu là cách cấp dung dịch cắt và cách thoát phoi. Do đặc điểm và nguyên lý nên các phương pháp BTA và Ejector phù hợp với việc gia công các lỗ có đường kính lớn, yêu cầu về chất lượng bề mặt cao và thường được sử dụng đối với việc gia công những nguyên công cuối của các sản phẩm có giá thành phiêi đắt như lỗ nòng các loại pháo, lỗ trục nén khí, lỗ trục cánh turbine...



Hình 1. Các phương pháp khoan lỗ sâu [1]

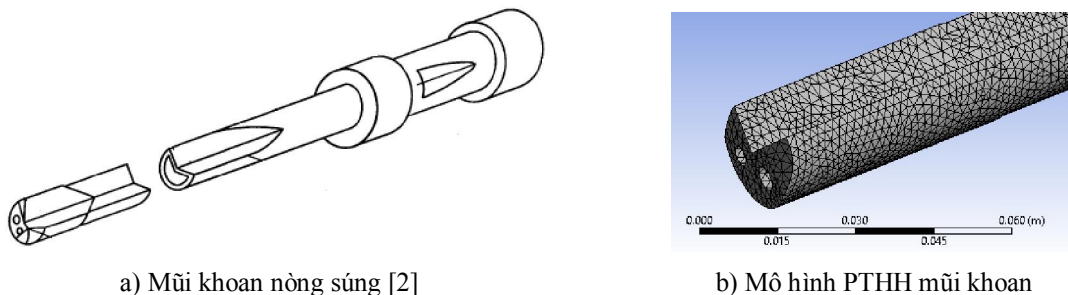
Nòng súng thuộc loại các lỗ sâu có đường kính nhỏ. Việc gia công các lỗ nòng súng chủ yếu sử dụng phương pháp Gun drilling, trong đó dung dịch cắt được bơm vào vùng gia công thông qua lỗ nhỏ nằm trong mũi khoan, phoi và dung dịch cắt được chuyển ra ngoài thông qua rãnh chữ V trên thân dao. Do đặc điểm thân mũi khoan có đường kính nhỏ và chiều dài lớn, nên hệ thống dẫn khoan nòng súng rất dễ xảy ra dao động khi khoan. Các nghiên cứu trong [2] đã chứng tỏ rằng độ lệch tâm khi khoan ảnh hưởng hưởn lớn đến độ thẳng của lỗ khoan. Vì vậy cùng với các hiện tượng loe tại phần đầu lỗ khi khoan [3, 4] thì dao động của hệ thống khoan cũng sẽ làm giảm chất lượng bề mặt và độ chính xác hình học của lỗ khoan.

Trong bài báo này, các tác giả sẽ tập trung nghiên cứu dao động của của hệ thống khoan lỗ sâu bằng phương pháp Gun drilling với 4 trục khoan khi khoan nòng súng có đường kính khoan $d = 22\text{mm}$ và chiều dài khoan $L = 1830\text{ mm}$ bằng phần mềm ANSYS Workbench.

2. MÔ HÌNH KHẢO SÁT MŨI KHOAN NÒNG SÚNG

2.1. Mô hình mũi khoan nòng súng

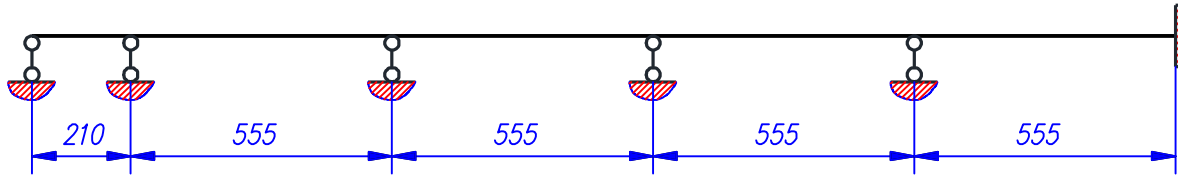
Cấu tạo chung của mũi khoan nòng súng gồm 2 phần: phần thân mũi khoan và phần kẹp chặt (hình 2a). Để phục vụ cho bài toán khảo sát dao động mũi khoan nòng súng, mô hình 3D và mô hình phần tử hữu hạn nòng súng được xây dựng như trên hình 2b.



Hình 2. Mô hình mũi khoan nòng súng

Để đảm bảo độ cứng vững của thân mũi khoan và dẫn hướng cần khoan, trong hệ thống khoan nòng súng sử dụng bạc dẫn hướng mũi khoan và hệ thống các luy net dẫn hướng cần

khoan. Bạc dẫn hướng cần khoan đặt tại đầu mũi khoan. Căn cứ vào đường kính lỗ khoan và điều kiện khoan, số lượng các luy net được chọn 4 và được bố trí cách nhau một khoảng là 555 mm như trên hình 3.



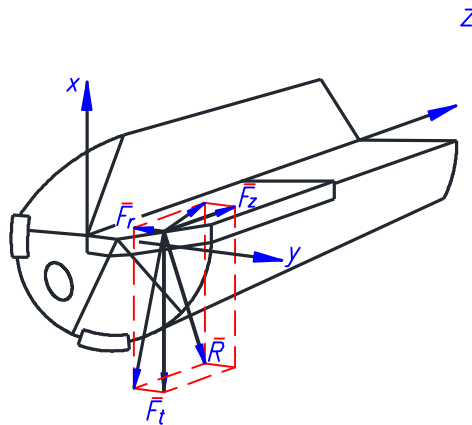
Hình 3. Sơ đồ bố trí các luy net tại vị trí chuẩn bị khoan

2.2. Mô hình động lực học mũi khoan nòng súng

Trong quá trình làm việc, mũi khoan lỗ sâu chịu tác dụng của các lực cắt \mathbf{R} như trên hình 4. Lực cắt \mathbf{R} gồm các lực thành phần: lực dọc F_z , lực hướng kính F_r và lực tiếp tuyến F_t . Lực dọc F_z được xác định theo công thức [5]:

$$F_z = k \cdot 10 \cdot C_p \cdot d^q \cdot S^y \cdot k_p \quad (1)$$

trong đó: k là số trục khoan ($k = 4$), d là đường kính lỗ khoan (mm), S là lượng chạy dao (mm/vòng), các hệ số C_p , q , y , k_p được tra theo [5].



Hình 4. Lực cắt tác dụng lên mũi khoan theo phương pháp Gun drilling

Lực tiếp tuyến F_t được xác định theo:

$$F_t = M_0 / d_{tb} \quad (2)$$

với M_0 là mô men xoắn (Nm), d_{tb} là khoảng cách từ điểm đặt lực cắt đến trục mũi khoan ($d_{tb} = d/4$). Theo [5], mô men xoắn tác dụng lên hệ thống khoan gồm 4 trục khoan được xác định theo công thức:

$$M_{22} = k \cdot 10 \cdot C_M \cdot d^q \cdot S^y \cdot k_M \quad (3)$$

trong đó các hệ số C_M , q , y , k_M được tra theo [5]. Với vật liệu gia công là thép các bon hoặc thép hợp kim có giới hạn bền 750 MPa đến 1100 MPa, vật liệu lưỡi cắt là thép gió hoặc hợp kim cứng thì $C_M = 0,0345$; $q = 2$; $y = 0,8$; $k_M = 1$. Theo [1], khi khoan nòng súng với đường kính mũi

khoan là $\Phi 22$ thì $S = 0,03 \pm 0,1 \text{ mm/vòng}$. Chọn $S = 0,1 \text{ mm/vòng}$, mô men xoắn tác dụng lên 4 trục khoan là:

$$M_{22} = 4.10.0,0345.22^2.0,1^{0,8}.1 = 105,8 \text{ (Nm)} \quad (4)$$

Do đó mô men xoắn M_0 tác dụng lên một trục khoan là $M_0 = M_{22}/4$ và lực tiếp tuyến F_t bằng:

$$F_t = \frac{M_0}{d_{tb}} = \frac{M_{22}}{4.d_{tb}} = \frac{105,8}{4.5,5.10^{-3}} = 4809 \text{ (N)} \quad (5)$$

Ngoài ra, mũi khoan còn chịu tác dụng của lực ma sát F_{ms} có chiều ngược với chiều chuyển động của lưỡi cắt [5]:

$$F_{ms} = f.F_r \quad (6)$$

với f là hệ số ma sát. Trên thực tế lực hướng kính F_r thường nhỏ hơn đáng kể so với lực dọc trục F_z và lực tiếp tuyến F_t . Lực hướng kính F_r thường được xét đến khi tính toán góc dốc và độ bền của giá đỡ lưỡi cắt. Vì vậy trong nghiên cứu này sẽ không xét đến tác dụng của lực F_r và F_{ms} .

3. KHẢO SÁT DAO ĐỘNG CỦA MŨI KHOAN NÒNG SÚNG

3.1. Khảo sát bài toán dao động riêng

Khảo sát bài toán dao động riêng của hệ thống khoan lỗ sâu cho phép xác định được các tần số dao động riêng và dạng dao động riêng của thân mũi khoan. Với sơ đồ của hệ thống khoan ở vị trí bắt đầu khoan trên hình 3. Trong mục này sẽ khảo sát bài toán dao động riêng của hệ thống tại các chiều sâu khoan L khác nhau:

- Khi chuẩn bị khoan: $L = 0$,
- Khi khoan mới xong: $L = 60 \text{ mm}$,
- Khi khoan ổn định một đoạn: $L = 900 \text{ mm}$,
- Khi chuẩn bị vào giai đoạn kết thúc $L = 1720 \text{ mm}$,
- Khi kết thúc khoan: $L = 1830 \text{ mm}$.

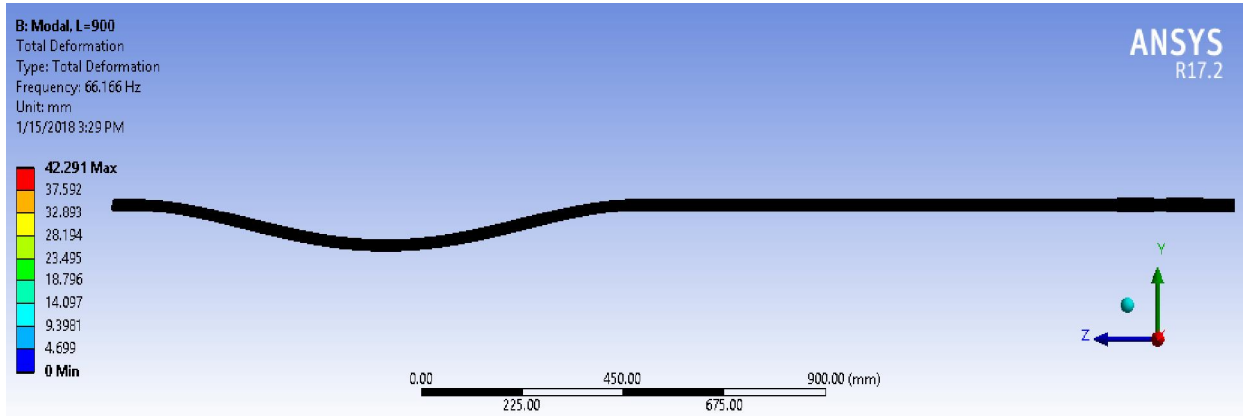
Kết quả tính toán các tần số riêng của thân mũi khoan sử dụng mô đun Modal Analysis trong ANSYS Workbench được thể hiện trên bảng 1. Các kết quả này chứng tỏ rằng khi chiều sâu khoan càng lớn thì tần số dao động riêng của hệ càng nhỏ. Điều này là do khi chiều sâu khoan tăng thì khoảng cách từ đầu mũi khoan đến vị trí gối đỡ thứ nhất sẽ tăng, điều này làm cho độ cứng vững của hệ thống cũng giảm. Các kết quả này cũng cho thấy tần số dao động riêng nhỏ nhất là khoảng 19,702 Hz. Tuy nhiên, quá trình khoan lỗ sâu thì tốc độ của trục chính khoảng $n = 700$ vòng/phút. Nên nếu giả sử các thành phần lực cắt thay đổi tuần hoàn với tần số bằng đúng tốc độ quay của trục chính, tức khoảng 11,67 Hz thì hiện tượng cộng hưởng không xảy ra khi khoan. Điều này chứng tỏ việc bố trí mô hình hệ thống khoan là hợp lý và khi khoan sẽ tránh xảy ra cộng hưởng, một trong những nguyên nhân gây ra các sai số hình dạng và giảm chất lượng lỗ sâu sau gia công.

Bảng 1. Các tần số dao động riêng thân mũi khoan

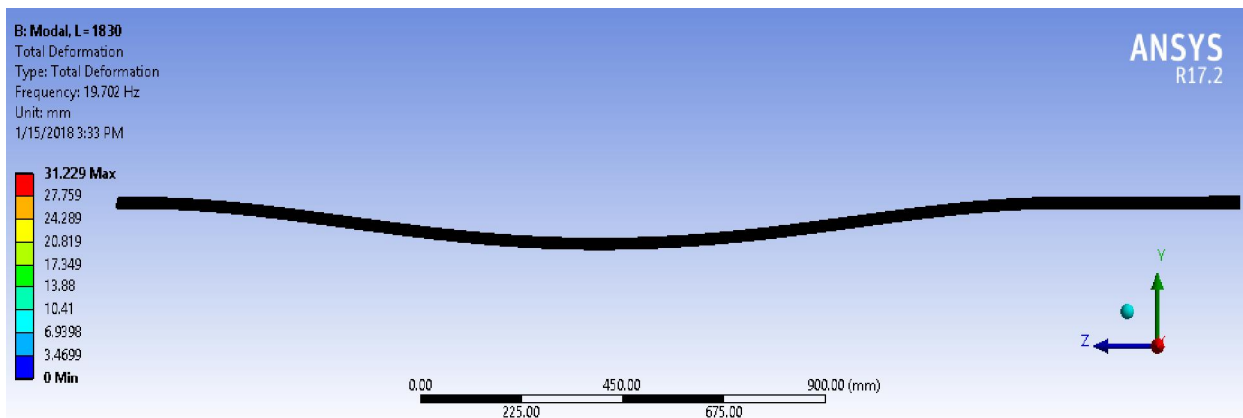
Các tần số dao động riêng (Hz)	$L = 0$	$L = 60 \text{ mm}$	$L = 900 \text{ mm}$	$L = 1720 \text{ mm}$	$L = 1830 \text{ mm}$
1	264,12	297,99	66,166	22,002	19,702
2	298,01	331,24	93,853	31,393	28,127

3	331,32	331,4	181,86	181,86	54,261
4	370,35	416,48	257,55	86,408	77,43
5	416,59	462,82	297,92	118,62	106,24
6	462,98	463,16	329	169,01	151,48

Bằng việc giải các bài toán dao động riêng cũng cho phép tìm được các dạng dao động riêng của thân mũi khoan. Dạng dao động riêng thứ nhất ứng với $L = 900\text{mm}$ và $L = 1830\text{mm}$ thể hiện trên hình 6.



a) $L = 900\text{mm}$



b) $L = 1830\text{mm}$

Hình 5. Dạng dao động riêng thứ nhất ứng với $L = 900\text{mm}$ và $L = 1830\text{mm}$

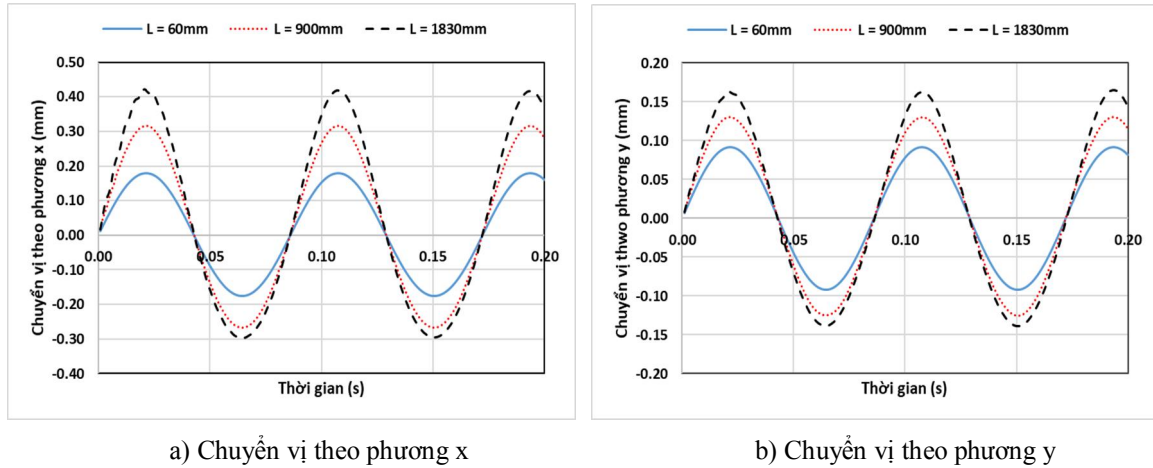
3.2. Khảo sát dao động cưỡng bức

Trong các thành phần lực cắt tác dụng lên mũi khoan, do lực pháp tuyến F_r nhỏ hơn đáng kể so với lực tiếp tuyến F_t và lực dọc F_z . Đồng thời, dao động uốn của đầu mũi khoan gây ra độ lệch tâm của mũi khoan và một trong những nguyên nhân gây ra sai số hình học của lỗ sau khi khoan. Dao động uốn của đầu mũi khoan chủ yếu do lực F_t gây ra. Nên trong mục này sẽ chỉ xét dao động của đầu mũi khoan dưới tác dụng của lực tiếp tuyến F_t . Giả sử trục chính quay với tốc độ $n = 700$ vòng/phút thì lực F_t sẽ có phương, chiều thay đổi với chu kỳ ứng với tốc độ quay của trục chính. Do đó có thể phân tích lực tiếp tuyến F_t được phân tích thành:

$$\vec{F}_t = \vec{F}_x + \vec{F}_y \quad (7)$$

với: $F_x = F_t \cdot \cos(73,3t)$ và $F_y = F_t \cdot \sin(73,3t)$.

Sử dụng phần mềm ANSYS Workbench với mô đun Transient Structural sẽ nhận được chuyển vị của đầu mũi khoan theo các phương x và y như trên hình 6.



Hình 6. Chuyển vị của đầu mũi khoan ứng với $L = 900\text{mm}$ và $L = 1830\text{mm}$

Chuyển vị lớn nhất theo các phương x và y của điểm đầu mũi khoan tương ứng chiều dài khoan 60mm, 900mm và 1830mm được thể hiện trên bảng 2. Các kết quả này chứng tỏ khi chiều dài khoan càng lớn thì dao động của mũi khoan càng lớn. So sánh với tài liệu khuyến cáo của hãng Sandvik [1] khi khoan với chiều dài 900 mm thì độ lệch tâm cho phép trong trường hợp mũi khoan quay, phôi đứng yên là khoảng 0,776mm. So sánh với bảng 2 cho thấy dao động của mũi khoan vẫn nằm trong giới hạn cho phép.

Bảng 2. Chuyển vị lớn nhất đầu mũi khoan

Chiều dài khoan L (mm)	Chuyển vị lớn nhất theo phương x (mm)	Chuyển vị lớn nhất theo phương y (mm)
60	0,174	0,0897
900	0,306	0,128
1830	0,410	0,159

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng mô hình động lực học của hệ thống khoan lỗ sâu, xác định các lực tác dụng lên đầu mũi khoan. Khảo sát bài toán dao động riêng của hệ thống khoan lỗ sâu chứng tỏ rằng khi tốc độ quay của trục chính dưới 700 vòng/phút thì không xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Khi chỉ xét đến tác dụng của lực tiếp tuyến, sử dụng phần mềm ANSYS Workbench đã các định được dao động uốn của đầu mũi khoan theo các phương x và y. Kết quả cũng cho thấy đối với hệ thống khoan nòng súng với đường kính nòng $d = 22\text{mm}$ đang xét thì dao động của điểm đầu mũi khoan cũng nằm trong các giới hạn cho phép. Các kết quả của bài toán khảo sát có thể được sử dụng cho bài toán thiết kế hệ thống khoan lỗ sâu cũng như đánh giá ảnh hưởng của độ cứng của hệ thống công nghệ đến chất lượng của lỗ sau khi khoan bằng phương pháp Gun drilling.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sandvik Coromant. *Deep hole drilling*, Product catalog and application guide, 144p
- [2]. Deng, C. S., Huang, J. C., Chin, J. H., (2001). *Effects of support misalignments in deep-hole drill shafts on hole straightness*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 41,1165–1188.
- [3]. Astakhov, V. P., 2002. *The mechanisms of bell mouth formation in gundrilling when the drill rotates and the workpiece is stationary. Part I: the first stage of drill entrance*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, 1135–1144.
- [4]. Astakhov, V. P., 2002. *The mechanisms of bell mouth formation in gundrilling when the drill rotates and the workpiece is stationary. Part II: the second stage of drill entrance*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, 1145–1152.
- [5]. Lộc, N. Đ., Tôn, N. Đ, Tiên, L.V., 2000. *Sổ tay công nghệ chế tạo máy, tập 1 và 2*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.