



Tạp chí

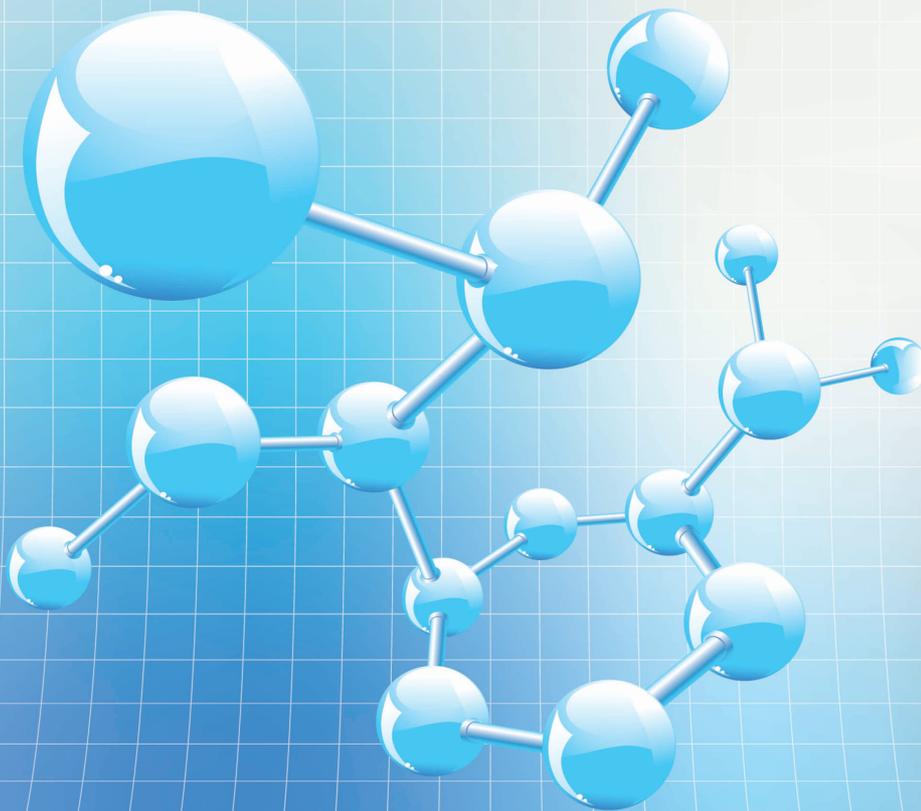
NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190

E. ISSN 2815-553X



Số 4 (92)

2025

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đĩnh

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai

Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyen Van Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/>Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.

In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

- | | | |
|---|----|--|
| Thiết kế bộ điều khiển có tham số thay đổi | 5 | Nguyễn Thu Hà
Trần Tiến Đức
Nguyễn Đức Quang |
| Ứng dụng phương pháp MPC để bù trễ truyền thông | 11 | Nguyễn Trọng Các |
| Ảnh hưởng của điện mặt trời áp mái nhà tới điện áp lưới điện phân phối | 17 | Nguyễn Đình Thắng
Nguyễn Việt Đức
Nguyễn Đức Thuận
Nguyễn Thị Thu Hương
Phạm Văn Nam
Lê Viết Sơn
Nguyễn Văn Hùng
Nguyễn Đức Minh
Đỗ Văn Đình |
| Ứng dụng mạng neural tích chập kết hợp với bộ điều khiển khả trình PLC để hỗ trợ thực hiện tránh va tự động cho tàu thủy | 26 | Đinh Anh Tuấn
Đoàn Hữu Khánh
Mạc Trung Phúc
Nguyễn Phương Ty |
| Nghiên cứu ứng dụng thị giác máy trong tự động hóa hệ thống rót than cho toa xe tại Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) | 32 | Lê Văn Thông
Phương Mạnh Tuấn
Phạm Thị Thu Hương
Phạm Văn Nam
Đỗ Văn Đình |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- | | | |
|--|----|---|
| Mô phỏng ứng suất, chuyển vị, biến dạng và hệ số an toàn trong lắp ghép mặt bích ống chịu tải trọng phức hợp | 39 | Vũ Hoa Kỳ |
| Nghiên cứu ứng dụng ngôn ngữ lập trình Python tối ưu hóa chế độ cắt khi tiện CNC thép không gỉ AL-6XN | 45 | Mạc Thị Nguyên
Nguyễn Thị Thảo
Đào Văn Kiên |
| Phân tích đa vật lý về Điện - Nhiệt - Cơ của Vi kết nối | 52 | Mạc Văn Giang |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- Nghiên cứu tối ưu hóa tấm phẳng hợp kim nhôm 6061-T6 theo hai phương pháp hình dạng và cấu trúc 58 Nguyễn Văn Hình
- Mô phỏng và phân tích ứng suất, biến dạng trên dao phay carbide K10 khi phay mặt bên thép SKD61 theo hai sơ đồ tiếp xúc 65 Mạc Thị Nguyên
Mạc Văn Giang

NGÀNH KINH TẾ

- Giải pháp thúc đẩy phát triển sản phẩm dịch vụ trong thời kỳ chuyển đổi số ở Việt Nam hiện nay 72 Ngô Thị Luyện
- Chi phí logistics và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp Việt Nam 78 Nguyễn Minh Tuấn
- Tiến tới Net Zero -Thực trạng phát triển thị trường Các-bon tại Việt Nam 84 Lương Thị Hoa
Nguyễn Thị Thủy
- Truyền thông số trong Marketing du lịch địa phương: Trường hợp khu di tích Côn Sơn - Kiếp Bạc, Thành phố Hải Phòng 90 Vũ Thị Hường
- Chính sách thuế dưới giác độ cảm nhận của hộ kinh doanh 96 Phạm Thị Hồng Hoa

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

- Ứng dụng chuyển đổi số trong giảng dạy học phần tư tưởng Hồ Chí Minh ở Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay 104 Nguyễn Thị Hải Hà
- Lý luận năng suất lao động của Mác-Lênin và quan điểm của Đảng Cộng sản Việt Nam trong bối cảnh chuyển đổi số ngày nay 109 Vũ Văn Đông
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về xây dựng đội ngũ nhà giáo và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam trong thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa hiện nay 114 Đặng Thị Dung
- Tư tưởng Hồ Chí Minh về nhà nước pháp quyền xã hội chủ nghĩa và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam hiện nay 120 Vũ Văn Đông
Trần Thị Hồng Nhung
- Phát triển nguồn nhân lực trong kỷ nguyên số thông qua mô hình hợp tác đào tạo giữa nhà trường và doanh nghiệp - Hướng đi mới cho quản lý giáo dục và nâng cao chất lượng lao động 125 Đỗ Thị Thùy

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

- | | | |
|--|----|--|
| Design of a variable parameter controller | 5 | Nguyen Thu Ha
Tran Tien Duc
Nguyen Duc Quang |
| Application of Model predictive control for communication delay compensation | 11 | Nguyen Trong Cac |
| Effects of rooftop photovoltaic systems on distribution grid voltage | 17 | Nguyen Dinh Thang
Nguyen Viet Duc
Nguyen Duc Thuan
Nguyen Thi Thu Huong
Pham Van Nam
Le Viet Son
Nguyen Van Hung
Nguyen Duc Minh
Do Van Dinh |
| Application of convolutional neural network (CNN) combined with programmable logic controller (PLC) to support automatic collision avoidance for ships | 26 | Dinh Anh Tuan
Doan Huu Khanh
Mac Trung Phuc
Nguyen Phuong Ty |
| A Study on the application of Machine vision in automating coal loading Systems for Railcars at Vietnam National Coal and Mineral Industries Group (TKV) | 32 | Le Van Thong
Phuong Manh Tuan
Pham Thi Thu Huong
Pham Van Nam
Do Van Dinh |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- | | | |
|---|----|---|
| Stress, displacement, strain and safety factor simulation in flange pipe assembly under complex loading | 39 | Vu Hoa Ky |
| Python based optimization of cutting parameters in CNC turning of AL-6XN stainless steel | 45 | Mac Thi Nguyen
Nguyen Thi Thao
Dao Van Kien |
| Multiphysics Analysis of Electro - Thermo - Mechanical Interactions in Micro - Interconnects | 52 | Mac Van Giang |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- Research on optimizing 6061-T6 aluminum alloy flat plate using two methods shape and structure 58 Nguyen Van Hinh
- Simulation and analysis of stress and strain on carbide K10 end mills for SKD61 steel side milling under two contact schemes 65 Mac Thi Nguyen
Mac Van Giang

TITLE FOR ECONOMICS

- Solutions to promote service products development in the current digital transformation period in Vietnam 72 Ngo Thi Luyen
- Logistics costs and competitiveness of Vietnamese enterprises 78 Nguyen Minh Tuan
- Toward Net Zero - The current development of the Carbon market in Vietnam 84 Luong Thi Hoa
Nguyen Thi Thuy
- Digital communication in Local Tourism Marketing: The Case of the Con Son - Kiep Bac Historical Site, Hai Phong City 90 Vu Thi Huong
- Tax policy from the perspective of business households 96 Pham Thi Hong Hoa

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- The application of digital transformation in teaching the subject of Ho Chi Minh's thought at Sao Do University today 104 Nguyen Thi Hai Ha
- The theory of labor productivity of Marx-Lenin and the viewpoint of the Communist Party of Vietnam in the context of today's digital transformation 109 Vu Van Dong
- Ho Chi Minh's thoughts on building a team of teachers and its application by the Communist Party of Vietnam in the current period of industrialization and modernization 114 Dang Thi Dung
- Ho Chi Minh's thought on the socialist rule of law state and its application by the Communist Party of Vietnam today 120 Vu Van Dong
Tran Thi Hong Nhung
- Developing human resources in the digital era through a training cooperation model between schools and businesses - A new direction for educational management and improving labor quality 125 Do Thi Thuy

Python based optimization of cutting parameters in CNC turning of AL-6XN stainless steel

Nghiên cứu ứng dụng ngôn ngữ lập trình Python tối ưu hóa chế độ cắt khi tiện CNC thép không gỉ AL-6XN

Mac Thi Nguyen*, Nguyen Thi Thao, Dao Van Kien

*Corresponding Author: nguyenmacthi@gmail.com

Sao Do University

Received date: 22/12/2024

Accepted date: 24/10/2025

Published date: 26/11/2025

Abstract

This study optimizes the cutting parameters (V , F , t) to reduce surface roughness R_a during CNC turning of the difficult-to-machine AL-6XN steel, using a second-order experimental design methodology (15 experiments) and Python tools for analysis. A quadratic regression model with a coefficient of determination $R^2=0,9843$ and a Mean Squared Error $MSE=0,001695$ was successfully developed to describe the relationship between the cutting parameters cutting speed V (m/min), feed rate F (mm/rev), and depth of cut t (mm) and the surface roughness R_a , while also showing that the order of influence is $F > t > V$. The optimal set of parameters ($V=105,2$ m/min, $F=0,081$ mm/rev, $t=0,96$ mm) yielding a predicted $R_{a\text{min}} \approx 0,713 \mu\text{m}$ has been determined and experimentally verified. The findings provide an effective methodology and practical optimal parameters for improving the surface quality of AL-6XN during CNC turning.

Keywords: AL-6XN stainless steel; CNC turning; cutting parameter optimization; surface roughness (R_a); Python programming; regression model; experimental design.

Tóm tắt

Nghiên cứu này tối ưu hóa các thông số cắt (V , F , t) nhằm giảm độ nhám bề mặt R_a khi tiện CNC thép AL-6XN khó gia công, sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm cấp II (15 thí nghiệm) và công cụ Python để phân tích. Mô hình hồi quy bậc hai có hệ số xác định $R^2=0,9843$ và sai số bình phương trung bình $MSE=0,001695$ đã được xây dựng thành công để mô tả mối quan hệ giữa các thông số chế độ cắt là Vận tốc cắt V (m/ph), lượng chạy dao F (mm/vg) và chiều sâu cắt t (mm) tới độ nhám bề mặt R_a , đồng thời cho thấy thứ tự ảnh hưởng là $F > t > V$. Bộ thông số tối ưu ($V = 105,2$ m/ph, $F = 0,081$ mm/vòng, $t = 0,96$ mm) cho $R_{a\text{min}}$ dự đoán $\approx 0,713 \mu\text{m}$ đã được xác định và kiểm chứng thực nghiệm. Kết quả cung cấp phương pháp luận hiệu quả và các thông số tối ưu thực tiễn để nâng cao chất lượng bề mặt AL-6XN khi tiện CNC.

Từ khóa: Thép không gỉ AL-6XN; tiện CNC; tối ưu hóa chế độ cắt; độ nhám bề mặt (R_a); lập trình Python; mô hình hồi quy; quy hoạch thực nghiệm.

1. INTRODUCTION

Super-austenitic stainless steel AL-6XN, known for its high chromium, nickel, molybdenum and nitrogen contents, is widely used in demanding industries such as chemical processing, pulp and paper, and oil and gas due to its excellent resistance to pitting, crevice corrosion, and stress corrosion cracking, especially in harsh environments. However, its high toughness, pronounced work-hardening behavior, and low thermal conductivity present significant challenges during machining.

Surface roughness (R_a) is a crucial quality parameter influencing the performance and service life of machined components and is mainly affected by cutting parameters—cutting speed (V), feed rate (F), and depth of cut (t)—in CNC turning. Therefore, optimizing these cutting parameters is of paramount importance.

Previous research efforts on R_a optimization in turning various steels are summarized as follows:

Study employed the Taguchi method on S45C steel, achieving an optimal R_a of $0.79 \mu\text{m}$ at $V = 135$ m/min, $F = 0,08$ mm/rev and $t = 1,1$ mm.

Study combined Taguchi and ANOVA methods on AISI 304 steel, resulting in an optimal R_a of $0,97 \mu\text{m}$ at $V = 550$ m/min, $F = 0,14$ mm/rev and $t = 0.4$ mm.

Reviewers: 1. Prof.Dr. Nguyen Duc Toan
2. Dr. Nguyen Duc Hai

Study utilized a second-order orthogonal design of experiments (DOE) for C45 steel turning, identifying optimal conditions within $V=150\text{--}180$ m/min, $F=0,1\text{--}0,15$ mm/rev, $t=0,2\text{--}0,3$ mm, with R_a values between $0,63\text{--}1,25$ μm .

Study applied ANOVA and Grey Relational Analysis (GRA) to optimize R_a and Material Removal Rate (MRR) concurrently, highlighting that feed rate most significantly affects R_a , while depth of cut predominates overall performance. The optimal parameters were: Speed $S=240$ rpm, Feed rate $F=15$ mm/min, and depth of cut $t=0,3$ mm.

Study used Artificial Neural Networks (ANN) to predict the influence of cutting parameters on tool wear and R_a in machining SC45 steel, achieving high prediction accuracy with determination coefficients (R^2) of 0,9893 and 0.9879 for the two models.

Although these studies provide valuable insights, they often focus on different materials or rely on conventional methods. This research aims to systematically optimize CNC turning parameters for AL-6XN stainless steel using modern computational tools. Specifically, we implement Python programming with libraries such as Numpy, Pandas, Scikit-learn, and Matplotlib, combined with an enhanced second-order orthogonal experimental design, to model the relationship between cutting speed (V), feed rate (F), depth of cut (t), and surface roughness (R_a). The goal is to develop a robust regression model and determine the optimal cutting parameters that minimize R_a , thereby enhancing the machining efficiency of AL-6XN alloy.

2. EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND MATERIALS

2.1. Experimental Equipment

a. Machining Center

A CNC lathe model CAK6136 - 750 was used for the turning experiments. Key specifications include a maximum spindle speed (n) of 4500 rpm and a spindle motor power of $P = 5,5$ kW. (Figure 1)



Figure 1. CNC Lathe CAK6136-750

b. Cutting Tool

According to [6], the cutting tool selected is a turning tool holder SCLCR/L 25 25 M4, equipped with a Sandvik

GC2015 insert coated carbide, nose radius $R = 0,8$ mm (Figure 2).



Figure 2. CNC Turning Tool

c. Measuring Instrument

A Mitutoyo SJ-201P surface roughness tester was used (Figure 3).



Figure 3. Mitutoyo SJ-201P Roughness Measuring Machine

2.2. Machining Drawing and Experimental Workpiece

The experiments were conducted on cylindrical AL-6XN stainless steel workpieces with dimensions of $\text{Ø}55 \times 12$ mm, having a hardness ranging from 160 HB to 190 HB. Figure 4 presents the machining drawing for the part, where A indicates the surface designated for roughness measurement in the experiment. According to [7], the composition of S136 steel is presented in Table 1.

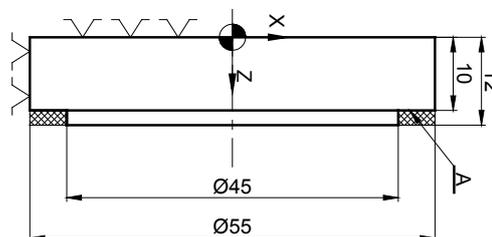


Figure 4. Machining drawing for the part in the experiment



Figure 5. Workpiece setup on the CNC lathe

Table 1. Composition of AL-6XN Stainless Steel

C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	N (%)	Si (%)	Cu (%)
~0,03	20÷22	23,5÷25,5	6÷7	0,18÷0,25	0÷1	0÷1

3. EXPERIMENTAL DESIGN METHODOLOGY

a. Number of Experiments

Based on [8], an improved second-order orthogonal design with 13 experiments (N=13) was chosen for the 3 factors (V,F, t). This design reduces the number of experiments compared to standard methods (requiring ≥ 15 experiments) while still providing sufficient data (center, axial, factorial points) to estimate a full second-order regression model.

b. Regression Equation

The relationship between the response variable (Surface Roughness, Y = Ra) and the coded input variables (X₁ for V, X₂ for F, X₃ for t) was modeled using a second-order polynomial equation:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

Expanding Equation (2) for k=3 factors yields the specific form used in this study:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 \quad (2)$$

c. Factor Levels in the Second-Order Orthogonal Experiment

Based on the cutting tool manufacturer's recommendations [6], material properties and preliminary tests, three levels (low: -1, center: 0, high: +1) were selected for each cutting parameter, as presented in Table 2.

Table 2. Factor levels in the second-order orthogonal experiment.

Experimental levels	Influencing factors		
	X ₁ = V m/ph	X ₂ = F mm/vg	X ₃ = t mm
High (+1)	120	0,1	1,1
Center (0)	105	0,085	0,95
Low (-1)	90	0,07	0,8

Table 3. Second-Order Orthogonal Experimental Matrix (13 Experiments with 2 Factors Varying at Each Experiment, Keeping 2 Factors at Central Level and 1 Experiment at Center)

Experimental Location	Coded variables			Actual variables			R _a (μm)
	X ₁	X ₂	X ₃	V (m/min)	F (mm/rev)	t (mm)	
1	+1	+1	-1	120	0,1	0,8	1,81

d. Research Model Diagram

The conceptual relationship between the input cutting parameters (V, F, t) and the output surface roughness (R_a), considering potential random noise (ξ), is illustrated in Figure 6. Here, ξ represents random variation due to uncontrolled factors such as minor changes in tool wear, machine vibration, material inhomogeneity, etc.

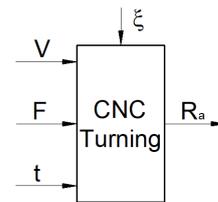


Figure 6. Parameter relationships in the regression model

4. EXPERIMENTAL PROCEDURE AND DATA ANALYSIS

4.1. Experimental Procedure and Data Collection

Thirteen workpieces were machined corresponding to the 13 experiments (Figure 7). After machining each experimental part, the roughness of surface A was measured five times at different locations using the Mitutoyo SJ-201P machine (Figure 8). The average value of these five measurements was recorded as the R_a value for that experimental run. The experimental design matrix and the corresponding measured average R_a values are presented in Table 3.



Figure 7. Machining details in the experiment



Figure 8. Measuring the surface roughness of the machined surface (surface A)

Experimental Location	Coded variables			Actual variables			R _a (μm)
	X ₁	X ₂	X ₃	V (m/min)	F (mm/rev)	t (mm)	
2	+1	-1	+1	120	0,07	1,1	1,62
3	+1	-1	-1	120	0,07	0,8	1,51
4	-1	+1	+1	90	0,1	1,1	1,87
5	-1	+1	-1	90	0,1	0,8	1,69
6	-1	-1	+1	90	0,07	1,1	1,41
7	-1	0	0	90	0,085	0,95	1,21
8	+1	0	0	120	0,085	0,95	1,29
9	0	-1	0	105	0,07	0,95	0,89
10	0	+1	0	105	0,1	0,95	1,48
11	0	0	-1	105	0,085	0,8	1,11
12	0	0	+1	105	0,085	1,1	1,19
13	0	0	0	105	0,085	0,95	0,74
14	0	0	0	105	0,085	0,95	0,74
15	0	0	0	105	0,085	0,95	0,74

4.2. Python Data Processing Algorithm

To systematically analyze the experimental data, develop the regression model, evaluate the influence of parameters, and perform optimization, a data processing procedure was implemented using Python. The algorithm outlining the main steps is presented in Figure 9 [9].

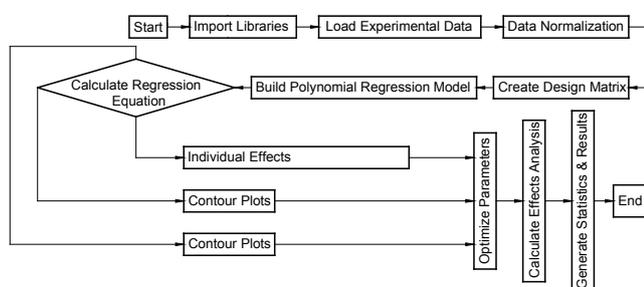


Figure 9. Flowchart of the algorithm for processing data from the experimental matrix table

- Initialization and Preparation Phase:

Start → Import Libraries: Import the necessary libraries.

Load Experimental Data: Load experimental data.

Data Normalization: Normalize the data to the range [-1,1].

- Model Construction Phase:

Calculate Regression Equation: Compute the regression equation.

Build Polynomial Regression Model: Construct the polynomial regression model.

Create Design Matrix: Generate the experimental design matrix.

- Analysis Phase:

Individual Effects: Analyze the individual effects of each factor.

Contour Plots (2 branches): Draw contour plots for visualization.

Optimize Parameters: Optimize the parameters.

- Results Phase:

Calculate Effects Analysis: Analyze the level of influence.

Generate Statistics & Results: Create statistical reports and results.

End: Conclude the process.

4.3. Results of Data Analysis using Python

The experimental data (Table 3) were processed in Python according to the described algorithm, employing libraries such as Numpy, Pandas, Scikit-learn, and Matplotlib. The results indicate that the developed regression model provides an excellent fit to the experimental data: the coefficient of determination (R²) reached 0.9843 explaining 98.43% of the variation in R_a while the mean squared error (MSE) was low at 0.001695, indicating high predictive accuracy. The regression equation describing the combined effect of the three cutting parameters on surface roughness (R_a) is as follows:

$$R_a = 0,74 + 0,077.V + 0,214.F + 0,069.t + + 0,4325.V.F + 0,455.V.t + 0,4725.F.t + 0,51.V^2 + 0,445.F^2 + 0,41.t^2 \quad (3)$$

From regression equation (3), the deviation between the observed experimental values and the predicted values can be calculated (Table 4).

Table 4. Prediction errors of the regression model

TT	R _a Actuality	R _a Prediction	Deviation
1	1,81	1,832	0,022
2	1,62	1,587	0,033
3	1,51	1,484	0,026
4	1,87	1,896	0,026
5	1,69	1,723	0,033
6	1,41	1,388	0,022
7	1,21	1,173	0,037
8	1,29	1,327	0,037
9	0,89	0,971	0,081
10	1,48	1,399	0,081
11	1,11	1,081	0,029
12	1,19	1,219	0,029
13	0,74	0,74	0
14	0,74	0,74	0
15	0,74	0,74	0
Mean Deviation			0,030

The quadratic polynomial regression model robustly predicts the surface roughness R_a and shows good agreement with the experimental data. This is evidenced by the small discrepancy between the predicted and experimental values, confirming that the model effectively captures the complex relationships. These relationships include non-linear effects (represented by the quadratic terms such as V², F², t²) and interaction effects (represented by the remaining terms in equation (3)).

To visualize the relationship between two cutting parameters and their effect on surface roughness (with the remaining parameter held at its center level), Figures 10 to 15 are presented. In these figures, the horizontal axis represents the values in terms of coded variables.

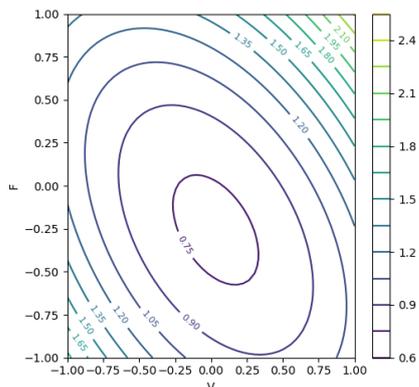


Figure 10. Contour plot of the response surface showing the effect of V and F on R_a

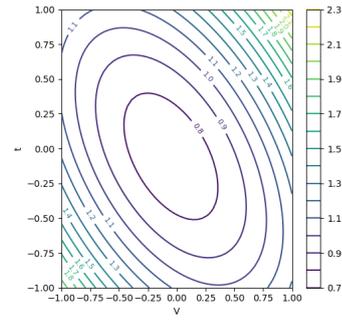


Figure 11. Contour plot of the response surface showing the effect of V and t on R_a

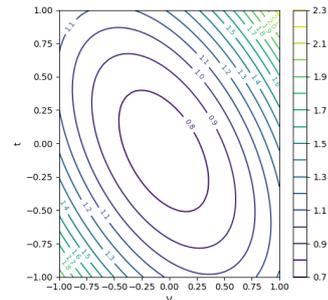


Figure 12. Contour plot of the response surface showing the effect of F and t on R_a

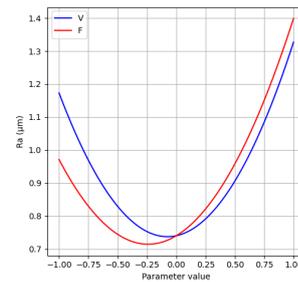


Figure 13. Interaction plot showing the effect of V and F on R_a

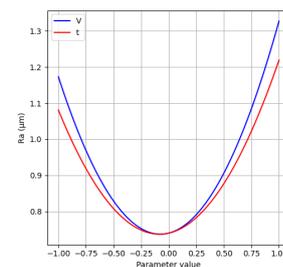


Figure 14. Interaction plot showing the effect of V and t on R_a

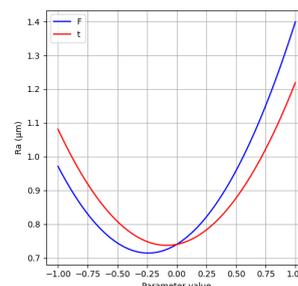


Figure 15. Interaction plot showing the effect of F and t on R_a

Observation: Quantitative analysis using the Python program indicates that the order of the parameters' effect on R_a is: F (greatest) > t > V (least). The visualizations presented corroborate this finding. Below are the detailed results regarding the individual effect of each parameter:

$$\begin{aligned} R_a(V) &= 0,74 + 0,077.V + 0,51.V^2 \\ R_a(F) &= 0,74 + 0,214.F + 0,445.F^2 \\ R_a(t) &= 0,74 + 0,069.t + 0,41.t^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Based on the factors above, the analysis results for the combined effect of the cutting parameters on surface roughness are as follows:

The influence of V on R_a accounts for 34.03%.

The influence of F on R_a accounts for 38.2%.

The influence of t on R_a accounts for 27.77%.

Optimal values from the regression model:

$$V_{opt} = 105.2 \text{ m/min.}$$

$$F_{opt} = 0.0807 \text{ mm/rev.}$$

$$t_{opt} = 0.96 \text{ mm.}$$

$$R_{amin} = 0.7125 \text{ }\mu\text{m.}$$

5. DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

Feed rate (F): This parameter has the most significant effect. Generally, R_a increases as F increases due to larger feed marks. However, the model indicates an optimal F value ($\approx 0,08$ mm/rev). At very low feed rates, R_a might also increase slightly due to secondary effects.

Cutting speed (V): Exhibits a non-linear effect. R_a tends to decrease as V increases from 90 m/min towards the optimum level ($\approx 105,2$ m/min), but subsequently increases again as V rises further to 120 m/min. The increase in R_a at higher speeds may be attributed to factors such as increased heat, vibration, tool wear, or problems with chip evacuation.

Depth of cut (t): Also shows a non-linear influence, though less significant than F . R_a tends to decrease slightly as t increases towards its optimum level ($\approx 0,96$ mm), likely due to increased cutting stability. However, R_a increases again at higher values of t , probably due to increased cutting forces and vibration.

The optimal cutting parameters lie within the experimental range. Notably, the predicted surface roughness value at this optimum is lower than the minimum value actually observed in the initial 13 experiments ($0,74 \text{ }\mu\text{m}$ in experiment 13). This demonstrates the regression model's interpolation capability, having generated a continuous 'response surface' from discrete data points. Furthermore, it

confirms the model's strong predictive performance and reinforces its value in identifying a parameter combination (very close to the experimental center point) that allows achieving better surface quality compared to any of the initially investigated points.

The novelty of this paper compared to previous studies lies in its application of a modern Python-based analysis workflow to optimize cutting parameters for the best surface quality specifically on AL-6XN steel a material less emphasized in cited publications while simultaneously providing quantitative results and practical optimal parameters.

6. CONCLUSION

This research systematically investigated the influence of cutting speed (V), feed rate (F), and depth of cut (t) on surface roughness (R_a) during CNC turning of AL-6XN stainless steel. The analysis employed Python and scientific libraries (Numpy, Matplotlib, Scikit-learn) to process experimental data, construct a second-order polynomial regression model ($R^2 = 0,9843$, $MSE = 0,001695$) that describes the non-linear relationship between the cutting parameters (V , F , t) and R_a , and visualize complex parameter interactions. The study found that the order of influence on R_a is: feed rate (F) > depth of cut (t) > cutting speed (V). Through optimization, the optimal cutting parameters ($V = 105,2$ m/min, $F = 0,0807$ mm/rev, $t = 0,96$ mm) were determined to achieve minimum surface roughness ($R_a \approx 0,71 \text{ }\mu\text{m}$), and these results have been experimentally validated. The regression model and optimal parameters provide valuable practical guidance for engineers and operators machining AL-6XN. Specific effect equations can be used to adjust parameters to achieve desired surface quality. The study emphasizes the importance of considering interactions and non-linear effects when machining difficult-to-cut materials like AL-6XN.

REFERENCES

- [1]. Trần Văn Khiêm (2017), *Phương pháp Taghuchi và ứng dụng trong tối ưu hóa chế độ cắt*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 4.
- [2]. NJ Rathod, MK Chopra, Prem Kumar Chaurasiya (2023), *Optimization of Tool Life, Surface Roughness and Production Time in CNC Turning Process Using Taguchi Method and ANOVA*, Springer Nature, Volume 10, pages 1179–1197.

- [3]. Nguyễn Thanh Bình (2018), *Nghiên cứu xác định chế độ cắt tối ưu theo hàm mục tiêu chất lượng bề mặt*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [4]. Ramu, I., Srinivas, P., & Vekatesh, K. (2018). Taguchi based grey relational analysis for optimization of machining parameters of CNC turning steel 316. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 377, Article 012078.
- [5]. Zuperl, U. and Cus, F., (2002), *Optimization of Cutting Conditions During Machining by Using Neural Networks*, International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Dresden, Germany, pp. 1-11.
- [6]. NS TOOL TURNING CATALOG Vol. 20 2022.11.
- [7]. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c40d1dc6431c4e8695d7319f959fde94>.
- [8]. Montgomery, Douglas C (2013), *Design and Analysis of Experiments*, Arizona State University.
- [9]. Leonard C. Onyiah (2022), *Design and Analysis of Experiments: Classical and Regression Approaches with SAS and Python*, CRC Press
- [10]. Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., ... & SciPy 1.0 Contributors. (2020). SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272.
- [11]. Hunter, J. D. (2007), *Matplotlib: A 2D graphics environment*, Computing in Science & Engineering, 9(3), 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.
- [12]. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12(Oct), 2825–2830. [Source 91, 92]

APPENDIX

The Python program's storage legality has been verified according to: GPG key ID: B5690EEEEBB952194

<https://github.com/giangmac/M-C-V-N-GIANG--I-H-C-SAO-/blob/main/python%2088.10.PY>

THÔNG TIN TÁC GIẢ

Mạc Thị Nguyên*, Nguyễn Thị Thảo,
Đào Văn Kiên

*Tác giả liên hệ: nguyenmacthi@gmail.com

Trường Đại học Sao Đỏ.

THẺ LỆ GỬI BÀI

TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về tòa soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03÷05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
 - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
 - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.
 - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>.

THÔNG TIN LIÊN HỆ:

Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, P. Chu Văn An, TP. Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ, Số 4 (92) 2025



BỘ CÔNG THƯƠNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:

- **Số 1:** Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, quốc lộ 37, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** <http://saodo.edu.vn> **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 4 (92)

2025

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ

Số 76, đường Nguyễn Thị Duệ, KDC Thái Học 2, phường Chu Văn An, thành phố Hải Phòng.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.
In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.