

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ШОРСТКОСТІ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТВОРУ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ «КОРПУС ПІДШИПНИКА»

Вінницький національний технічний університет

Анотація

За допомогою математичного планування експерименту виконане дослідження впливу глибини, подачі та швидкості різання на шорсткість оброблюваного центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника» при розточуванні на токарно-револьверному верстаті з ЧПК. Отримана математична модель підтверджує значущість впливу вибраних факторів, а також ефектів їх взаємодії.

Ключові слова: механічна обробка, розточування, шорсткість, планування експерименту, повний факторний експеримент.

Abstract

With the help of mathematical planning of the experiment, the study of the influence of depth, feed and cutting speed on the roughness of the machined central hole of the workpiece of the "Bearing housing" part when boring on a CNC turret lathe was carried out. The obtained mathematical model confirms the significance of the influence of the selected factors, as well as the effects of their interaction.

Keywords: machining, boring, roughness, experiment planning, full factorial experiment.

Вступ

Процеси обробки матеріалів різанням є складними багатфакторними процесами. В цих процесах досліджувана величина часто є випадковою величиною, яка залежить від великої кількості контрольованих і неконтрольованих факторів. Тому процеси різання доцільно розглядати з імовірно-статистичних позицій, а при експериментальних дослідженнях застосовувати методи планування експерименту, що базуються на ідеях математичної статистики [1–5].

Мета роботи – встановити залежність шорсткості при розточуванні центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника» від режимів різання за допомогою математичного планування експерименту. В якості впливових факторів розглянуто наступні режими різання: швидкість v , подача S і глибина t різання.

Результати дослідження

Дослідження виконувалося при розточуванні отвору деталі «Корпус підшипника» на токарно-револьверному верстаті з ЧПК. Залежність $Ra = f(v, S, t)$ було вирішено апроксимувати поліномом другого степеня [1–3]. Експеримент проведений по програмі повного трифакторного експерименту. Прийняті в дослідженні рівні та інтервали варіювання факторів вказані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Кодове позначення	Інтервали варіювання	Натуральні рівні факторів, що відповідають кодованим		
			+1	0	-1
v – швидкість різання, м/хв	x_1	120,89	345,4	224,51	103,62
S – подача, мм/об	x_2	0,35	0,8	0,45	0,1
t – глибина різання, мм	x_3	1,45	3,0	1,55	0,1

Матриця планування і результати дослідів показані в табл. 2. Проведено 8 дослідів згідно плану повного трифакторного експерименту типу 2^3 .

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту та результати дослідів

№ дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Ra \bar{y} , МКМ
1	+	-	-	-	+	+	+	-	3,160
2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,697
3	+	-	+	-	-	+	-	+	6,287
4	+	+	+	-	+	-	-	-	2,520
5	+	-	-	+	+	-	-	+	3,240
6	+	+	-	+	-	+	-	-	1,263
7	+	-	+	+	-	-	+	-	12,513
8	+	+	+	+	+	+	+	+	6,370

За результатами дослідів, обчислено G -критерій Кохрена для перевірки однорідності дисперсії паралельних дослідів $G_p = S_{j\max}^2 / \sum_{j=1}^N S_j^2 = 0,3238$.

Рівень значущості всіх розглядуваних критеріїв $\alpha = 0,05$. Оскільки $G_{табл} = 0,5157 > G_p = 0,3238$ [2], то гіпотеза про однорідність паралельних дослідів приймається.

Дисперсія відтворюваності $S^2(y) = \sum_{j=1}^N S_j^2 / N = 0,3051/8 = 0,0381$.

Помилка експерименту $S(y) = \sqrt{S^2(y)} = \sqrt{0,0381} = 0,1953$.

За результатами дослідів, виконаних відповідно до прийнятого плану експерименту, можна розрахувати коефіцієнти рівняння регресії виду

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \quad (1)$$

Коефіцієнти рівняння (1) мають такі значення:

$$b_0 = 4,506; \quad b_1 = -1,794; \quad b_2 = 2,416; \quad b_3 = 1,34; \\ b_{12} = -0,684; \quad b_{13} = -0,236; \quad b_{23} = 1,179; \quad b_{123} = -0,358.$$

Помилки всіх коефіцієнтів рівні між собою (для повного факторного експерименту) $S(b_i) = S(y) / \sqrt{N \cdot r} = 0,1953 / \sqrt{8 \cdot 3} = 0,0399$.

Визначено довірчий інтервал для коефіцієнтів $\Delta b_i = \pm t_{кр} \cdot S(b_i) = 2,12 \cdot 0,0399 = \pm 0,0845$, де $t_{кр} = 2,12$ – критичне значення критерію Стюдента, прийнято згідно [2] (при $\alpha = 0,05$).

Значення всіх коефіцієнтів більше довірчого інтервалу, тобто статистично незначущих коефіцієнтів немає.

Тоді рівняння (1) набуде вигляду

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 = \\ = 4,506 - 1,794x_1 + 2,416x_2 + 1,34x_3 - 0,684x_1x_2 - 0,236x_1x_3 + 1,179x_2x_3 - 0,358x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Перевірено адекватність отриманого рівняння (2) по критерію Фішера. Розрахунковий критерій Фішера $F_p = 0,0083 \leq F_{табл} = 4,49$ [2], тобто модель є адекватною. Обчислені за рівнянням (2)

значення u відрізняються від експериментальних на величини, що не перевищують помилку досліджень.

Кодовані значення факторів пов'язані з натуральними наступними залежностями:

$$x_1 = \frac{v - v_0}{\varepsilon_1} = \frac{v - 224,51}{120,89}; \quad x_2 = \frac{S - S_0}{\varepsilon_2} = \frac{S - 0,45}{0,35}; \quad x_3 = \frac{t - t_0}{\varepsilon_3} = \frac{t - 1,55}{1,45},$$

де v_0 , S_0 , t_0 – основні рівні факторів в натуральних вираженнях; ε_1 , ε_2 , ε_3 – інтервали варіювання факторів.

Переходячи від кодovаних x_1 , x_2 , x_3 значень факторів до натуральних v , S , t , отримано залежність шорсткості поверхні при розточуванні від режимів різання, мкм:

$$Ra = 4,506 - 1,794 \frac{v - 224,51}{120,89} + 2,416 \frac{S - 0,45}{0,35} + 1,34 \frac{t - 1,55}{1,45} - 0,684 \left(\frac{v - 224,51}{120,89} \right) \left(\frac{S - 0,45}{0,35} \right) - 0,236 \left(\frac{v - 224,51}{120,89} \right) \left(\frac{t - 1,55}{1,45} \right) + 1,179 \left(\frac{S - 0,45}{0,35} \right) \left(\frac{t - 1,55}{1,45} \right) - 0,358 \left(\frac{v - 224,51}{120,89} \right) \left(\frac{S - 0,45}{0,35} \right) \left(\frac{t - 1,55}{1,45} \right). \quad (3)$$

Рівняння (3) адекватне, тому його можна використовувати як інтерполяційну формулу для обчислення величини Ra , а також для визначення раціональних значень режимів різання.

Отримані за рівнянням (3), апроксимовані лінійні залежності шорсткості Ra від режимів різання показано на рис. 1–3.

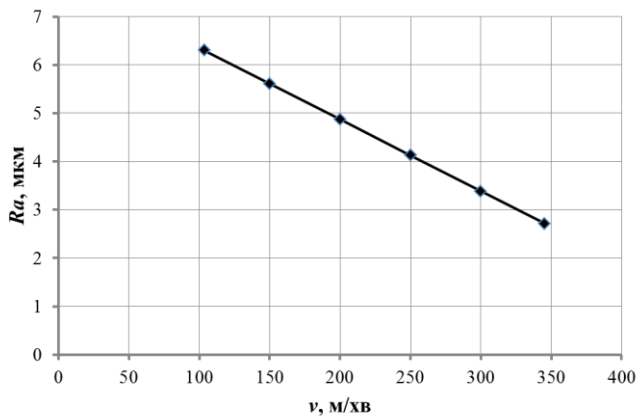


Рис. 1. Залежність шорсткості Ra від швидкості різання v

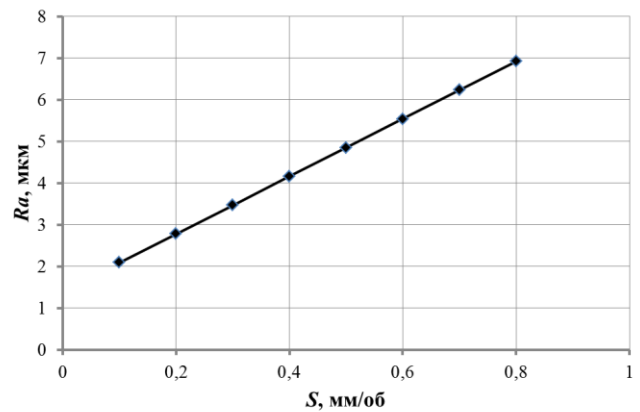


Рис. 2. Залежність шорсткості Ra від подачі S

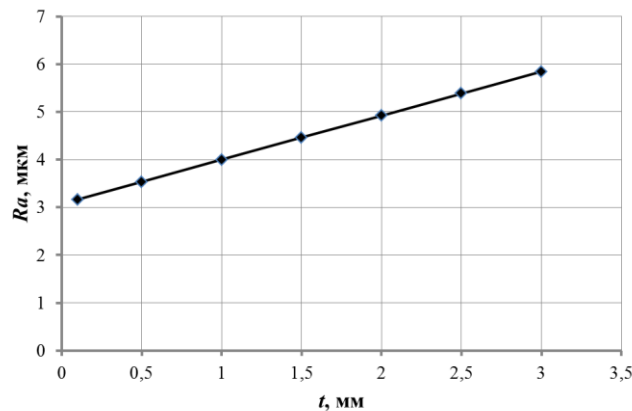


Рис. 3. Залежність шорсткості Ra від глибини різання t

Зі збільшенням подачі S та глибини різання t шорсткість обробленої поверхні зростає, оскільки коефіцієнти $b_2 = 2,416$ і $b_3 = 1,34$ вийшли додатними. При цьому більший вплив в діапазоні вибраних рівнів варіювання факторів має подача S ($b_2 > b_3$). При збільшенні швидкості різання v шорсткість обробленої поверхні зменшується (коефіцієнт $b_1 = -1,794$ – від’ємний), але вплив цього фактора менш значний, ніж вплив подачі S , але більш значний ніж вплив глибини різання t , оскільки за модулем $b_3 < b_1 < b_2$.

Висновки

За допомогою математичного планування експерименту виконане дослідження впливу глибини t , подачі S та швидкості v різання на шорсткість Ra оброблюваного центрального отвору заготовки деталі «Корпус підшипника» при розточуванні на токарно-револьверному верстаті з ЧПК. Отримана математична модель $Ra = f(v, S, t)$ підтверджує значущість впливу вибраних факторів, а також ефектів їх взаємодії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
2. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
3. Грановский Г. И. Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов / Г. И. Грановский. – М. : Машиностроение, 1982. – 112 с.
4. Сивак І. О. Дослідження впливу геометрії токарного різця на його стійкість засобами математичного планування експерименту [Електронний ресурс] / І. О. Сивак, С. В. Репінський, А. О. Веклюк // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017), Вінниця, 15-24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2881>.
5. Аналіз впливу факторів процесу різання на точність обробки за допомогою математичного планування експерименту [Електронний ресурс] / Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, О. В. Паславська, А. В. Курилець, М. І. Устич // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017), Вінниця, 15-24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2884>.

Репінський Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Буренніков Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, професор, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця;

Лукаш Владислав Назарович – студент групи ІПМ-20м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Repinskyi Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Buriennikov Yurii A. – Cand. Sc. (Eng), Professor, Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineer, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Lukash Vladyslav N. – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.