

**Юрій Яровий<sup>1</sup>, Володимир Фролов<sup>2</sup>, Сергій Сапон<sup>3</sup>, Ірина Ісаєнко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри цифрових технологій в інжинірингу

Національний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)

**E-mail:** yarovoy.u.v@op.edu.ua. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-6997-4108>. **ResearcherID:** KBB-1945-2024

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

**E-mail:** v.k.frolov@gmail.com. **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. **ResearcherID:** ACH-0071-2022

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** s.sapon@gmail.com **ORCID** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431> **ResearcherID:** G-7764-2014

<sup>4</sup>магістр

Національний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)

**E-mail:** [elisdechart@gmail.com](mailto:elisdechart@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ОБТОЧУВАННІ ХРОМОМОЛІБДЕНОВОЇ СТАЛІ

Стаття присвячена дослідженню залежності шорсткості поверхні від режимів різання (подачі, глибини та швидкості різання) при обточуванні хромомолібденової сталі. Побудову математичної моделі та перевірку адекватності виконано за методикою повного факторного дослідження типу 2<sup>3</sup>. Встановлено, що на шорсткість поверхні при обточуванні найбільше впливає подача та швидкість різання; показано, що глибина різання суттєво не впливає на шорсткість поверхні. Пошук оптимальних значень подачі, глибини та швидкості різання, який доповнює проведені дослідження, виконано на основі статично-математичного методу Тагучі.

**Ключові слова:** шорсткість поверхні; швидкість різання; подача; глибина різання; планування експерименту; метод Тагучі.

Рис.: 4. Табл.: 5. Бібл.: 14.

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток машинобудівного виробництва відбувається шляхом впровадження сучасних технологій, обладнання, різального інструменту, які дозволяють отримати задану якість виробу. Якість виробу є комплексним показником. Якість поверхні характеризується фізико-механічними (твердість, деформаційне зміцнення, наклеп) та геометричними (похибка форми, шорсткість поверхні, хвилястість) параметрами. Шорсткість поверхні впливає на експлуатаційні характеристики виробу. Конструкторські вимоги до шорсткості поверхні визначають режими різання при обробці деталей. Дослідженням впливу режимів різання на шорсткість поверхні присвячено багато наукових публікацій. Але фактично подібні дослідження є вузько спрямованими, оскільки розглядають окремі найбільш поширені марки сталі. Таким чином, дослідження впливу режимів різання на шорсткість поверхні при обробці спеціальних матеріалів (хромомолібденових сталей та титанових сплавів) є актуальною темою дослідження.

**Постановка проблеми.** Основними параметрами, які впливають на вибір режимів різання, є матеріал деталі та шорсткість поверхні. Проте рекомендовані програмним забезпеченням або довідниковою літературою режими різання не завжди є оптимальними та прийнятими для технологічного устаткування. Сучасні дослідження впливу режимів різання на шорсткість поверхні характеризуються відсутністю комплексності. Одні дослідження присвячені визначенню оптимальних режимів різання, інші – впливу режимів різання на шорсткість поверхні. Одночасне застосування двох різних підходів дозволить дослідити вплив режимів різання на шорсткість поверхні, а також визначити оптимальні режими різання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На шорсткість обробленої поверхні діють різноманітні фактори, які поділяються на три основні групи [1]: фактори, пов'язані з геометрією процесу різання; фактори, пов'язані з пластичною та пружною деформацією обробленого матеріалу; фактори, пов'язані з виникненням вібрацій різального інструменту.

У працях [1-3] показано, що шорсткість поверхні залежить від подачі, радіуса закруглення вершини різця, головного та допоміжного кутів у плані. Найбільш розповсюдженим виразом для розрахунку шорсткості є наступний [4; 5; 7; 10]:

$$Rz = \frac{s^2}{8r} \quad (1)$$

де  $r$  – радіус закруглення вершини різця, мм;  
 $s$  – величина подачі, мм/об.

Середнє арифметичне відхилення оціненого профілю  $Ra$  рекомендують визначати за виразом [4]

$$Ra = \frac{Rz}{4} = \frac{s^2}{32r}. \quad (2)$$

Вирази (1) та (2) не враховують властивості матеріалу, що обробляється.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Шорсткість поверхні є параметром, який впливає на експлуатаційні характеристики виробу. Вирази (1) та (2) не враховують швидкість різання та глибину різання, які є важливими параметрами при виконанні чорнових та чистових операцій обробки.

Дослідження [5-10] доводять, що шорсткість поверхні також залежить від режимів різання (подачі, швидкості різання, глибини різання) та параметрів різального інструменту (радіусу закруглення, головного та допоміжного кутів у плані), але дослідження подібного типу проводяться окремо для різних матеріалів, різального інструменту та режимів різання.

**Метою статті** є дослідження впливу режимів різання на шорсткість поверхні при обточуванні сталі 38ХМ (сталь конструкційна легована, хромомолібденова) та визначення оптимальних режимів різання для неї.

**Виклад основного матеріалу.** Технологічні фактори механічної обробки поділяються на стаціонарні та керовані. До стаціонарних факторів належать: вид, властивості, стан оброблюваного та інструментального матеріалів, початкова форма та розміри заготовки, схема базування, траєкторія руху при обробці. До керованих факторів відносять режими різання та геометричні параметри інструменту.

Традиційно рівняння в теорії різання записуються у ступеневому вигляді. Необхідно дослідити, як впливають швидкість різання, глибина різання та подача на шорсткість поверхні оброблюваної деталі зі сталі 38ХМ. Рівняння для шорсткості поверхні представимо у вигляді:

$$Ra = cs^\alpha t^\beta v^\gamma, \quad (3)$$

де  $c$  – постійний коефіцієнт;  
 $\alpha, \beta, \gamma$  – показники ступеня;  
 $t$  – глибина різання, мм  
 $v$  – швидкість різання, м/хв.

Рівняння (3) після логарифмування має вигляд:

$$\ln Ra = \ln c + \alpha \ln s + \beta \ln t + \gamma \ln v. \quad (4)$$

Представимо його у поліномному вигляді:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (5)$$

де  $y$  – кодування значення шорсткості поверхні;  
 $x_1, x_2, x_3$  – кодування значення факторів подачі, глибини різання та швидкості різання.

Справедливість залежності шорсткості поверхні від режимів різання можна встановити перевіркою адекватності лінійної частини полінома (5) [11-15].

Проведено дослідження шорсткості поверхні деталі зі сталі 38ХМ при обробці інструментальною державкою PCLNR 2020 K12 із різальною пластиною з твердого сплаву та покриттям TiCN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN (головний кут у плані 95°, радіус при вершині 0,4 мм).

Рівні факторів та їх кодування наведені в табл. 1. Кодовані значення факторів  $x_1, x_2, x_3$  при натуральних значеннях логарифма дорівнюють одиниці на верхньому рівні, нулю на основному рівні та мінус одиниці на нижньому рівні. Це обумовлено рівнянням (3), яке для кожного з факторів набуде відповідного вигляду:

$$x_1 = \frac{2(\ln s - \ln 0,34)}{\ln 0,34 - \ln 0,07} + 1, \quad x_2 = \frac{2(\ln t - \ln 2)}{\ln 2 - \ln 1} + 1, \quad x_3 = \frac{2(\ln v - \ln 140)}{\ln 140 - \ln 80} + 1. \quad (6)$$

Таблиця 1 – Рівні факторів

Фактори	Кодоване значення	Натуральні рівні факторів відповідно до кодування		
		верхній (+1)	основний (0)	нижній (-1)
Подача, $s$ , мм/об	$x_1$	0,34	0,205	0,07
Глибина різання, $t$ , мм	$x_2$	2	1,5	1
Швидкість різання $v$ , м/хв	$x_3$	140	110	80

Джерело: розроблено авторами.

Оцінювання коефіцієнтів рівняння (5) виконуємо за методикою повного факторного дослідження типу 2<sup>3</sup>. Складемо матрицю планування з результатами дослідження (табл. 2).

Таблиця 2 – Матриця планування дослідження та результати дослідження

Номер досліді	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$Y_{сеп}$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	3,61	4,30	3,75	3,89
2	+	-	+	-	-	+	-	+	3,96	4,80	4,30	4,35
3	+	+	-	-	-	-	+	+	5,28	6,00	5,60	5,63
4	+	+	+	-	+	-	-	-	5,98	5,80	6,15	5,98
5	+	-	-	+	+	-	-	+	2,79	3,20	3,00	3,00
6	+	-	+	+	-	-	+	-	3,08	3,15	3,50	3,24
7	+	+	-	+	-	+	-	-	3,61	3,50	4,00	3,70
8	+	+	+	+	+	+	+	+	3,66	4,00	3,70	3,79

Джерело: розроблено авторами.

Визначаємо коефіцієнти рівняння регресії (5) та складаємо таблицю для визначення коефіцієнтів лінійного рівняння (табл. 3).

Таблиця 3 – Розрахунок коефіцієнтів рівняння

Номер досліді	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_1b_2$	$b_1b_3$	$b_2b_3$	$b_1b_2b_3$
1	3,89	-3,89	-3,89	-3,89	3,89	3,89	3,89	-3,89
2	4,35	-4,35	4,35	-4,35	-4,35	4,35	-4,35	4,35
3	5,63	5,63	-5,63	-5,63	-5,63	-5,63	5,63	5,63
4	5,98	5,98	5,98	-5,98	5,98	-5,98	-5,98	-5,98
5	3,00	-3,00	-3,00	3,00	3,00	-3,00	-3,00	3,00
6	3,24	-3,24	3,24	3,24	-3,24	-3,24	3,24	-3,24
7	3,70	3,70	-3,70	3,70	-3,70	3,70	-3,70	-3,70
8	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79	3,79
Середнє значення	4,2	0,58	0,14	-0,76	-0,04	-0,26	-0,06	-0,01

Джерело: розроблено авторами.

Після обробки результатів дослідження отримаємо рівняння

$$y = 4,2 + 0,58x_1 + 0,14x_2 - 0,76x_3 - 0,04x_1x_2 - 0,26x_1x_3 - 0,06x_2x_3 - 0,01x_1x_2x_3. \quad (7)$$

Виконуємо перевірку адекватності та однорідності рівняння (7) і визначаємо довірчий інтервал коефіцієнтів регресії. Після виключення незначущих коефіцієнтів рівняння (7) остаточно приймає вигляд

$$y = 4,2 + 0,58x_1 + 0,14x_2 - 0,76x_3 - 0,26x_1x_3. \quad (8)$$

Перевірку адекватності рівняння (8) виконано за  $F$ -критерієм Фішера. Визначено, що лінійна модель є адекватною. Таким чином, залежність шорсткості поверхні від факторів, що досліджуються, з достатньою точністю може бути представлена рівнянням (3).

Для переходу від кодованих значень факторів до натуральних значень у рівняння (8) необхідно підставити значення факторів  $x_1, x_2, x_3$  – вирази (6). Виконуючи потенціювання отримаємо:

$$Ra = 6,14 \cdot 10^{10} s^{5,59-1,04 \ln v} t^{0,41} v^{-4,66} . \quad (9)$$

Рівняння (9) описує залежність шорсткості поверхні від режимів різання при обточуванні сталі 38ХМ. Отримане рівняння дозволяє побудувати номограми, які можна використовувати у практичних цілях для визначення шорсткості поверхні при обраних значеннях режимів різання.

За отриманим виразом виконано математичне моделювання залежності шорсткості поверхні від режимів різання. Аналіз залежності шорсткості поверхні від подачі (рис. 1) показує, що зменшення подачі призводить до зменшення шорсткості. Зокрема, зменшення подачі з 0,34 мм/об до 0,1 мм/об призводить до зменшення шорсткості поверхні на величину до 65 %. Також показано, що збільшення глибини різання призводить до збільшення шорсткості поверхні на 25 %.

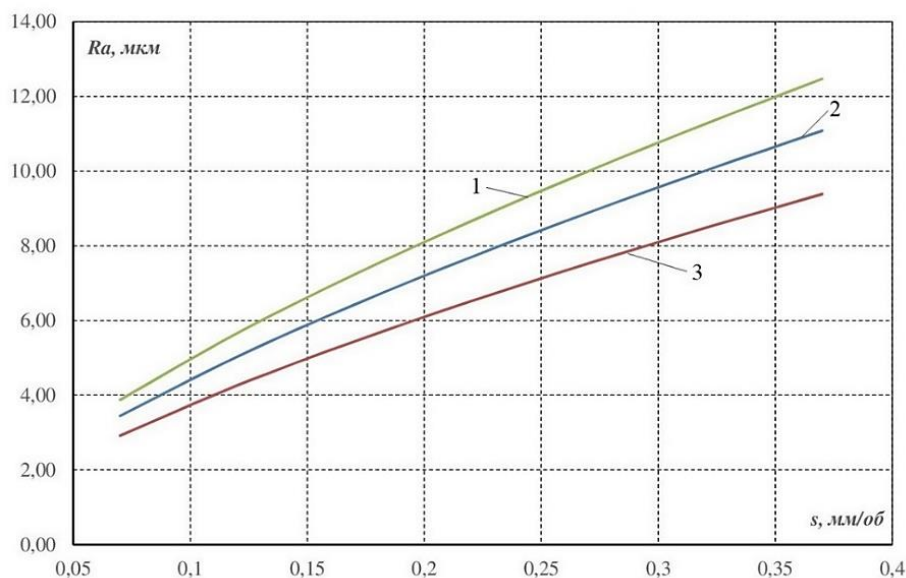


Рис. 1. Залежність шорсткості поверхні від подачі (швидкість різання  $v = 110$  м/хв):

1 – глибина різання  $t = 2$  мм; 2 – глибина різання  $t = 1,5$  мм;

3 – глибина різання  $t = 1$  мм

Джерело: розроблено авторами.

Збільшення глибини різання призводить до збільшення шорсткості поверхні (рис. 2). Але цей параметр має на шорсткість поверхні меншій вплив, ніж величина подачі. Так, при збільшенні величини припуску з 1 мм до 2 мм, шорсткість зростає на 25 % при постійній швидкості різання та подачі. У цьому випадку значення отриманої шорсткості поверхні належать до одного класу. Одночасна зміна глибини різання та величини подачі призводить до зміни шорсткості поверхні на величину до 50 %.

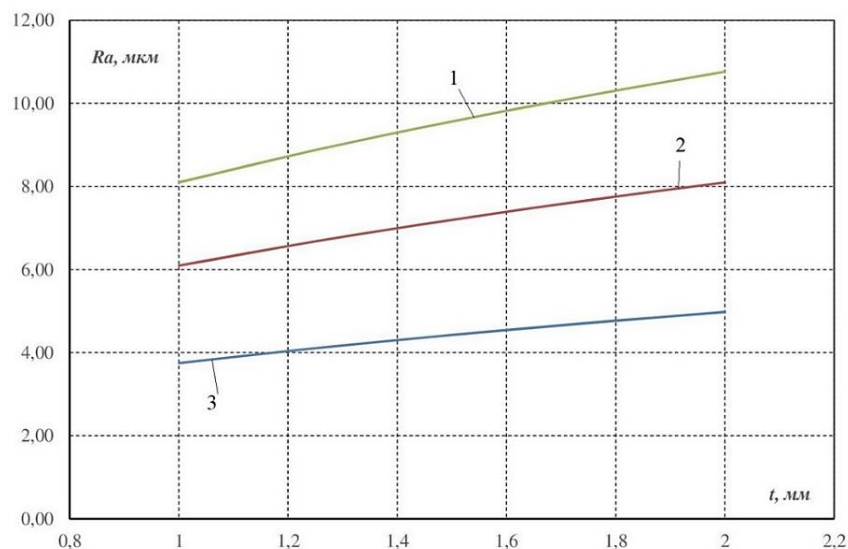


Рис. 2. Залежність шорсткості поверхні від глибини різання (швидкість різання  $v = 110 \text{ м/хв}$ ):

1 – подача  $s = 0,3 \text{ мм/об}$ ; 2 – подача  $s = 0,2 \text{ мм/об}$ ; 3 – подача  $s = 0,1 \text{ мм/об}$ .

Джерело: розроблено авторами.

Обробка на більш високих швидкостях різання призводить до зменшення шорсткості поверхні (рис. 3). Зокрема, збільшення швидкості різання з  $80 \text{ м/хв}$  до  $140 \text{ м/хв}$  призводить до зменшення шорсткості поверхні на величину до 70 %. Подібний результат обумовлений тим, що швидкість різання та подача є взаємозалежними факторами.

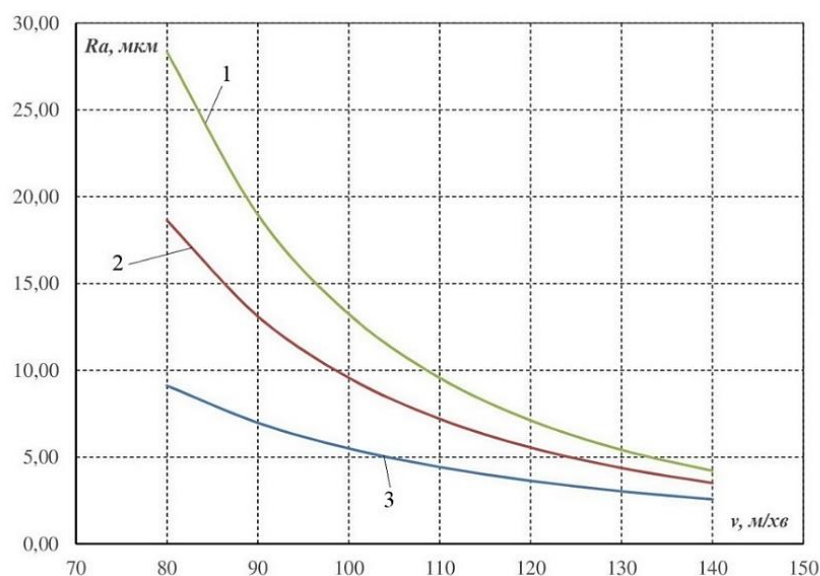


Рис. 3. Залежність шорсткості поверхні від швидкості різання (глибина різання  $t = 1,5 \text{ мм}$ ):

1 – подача  $s = 0,3 \text{ мм/об}$ ; 2 – подача  $s = 0,2 \text{ мм/об}$ ; 3 – подача  $s = 0,1 \text{ мм/об}$ .

Джерело: розроблено авторами.

Проведене авторами дослідження залежності шорсткості поверхні від режимів різання свідчить, що подача та швидкість різання суттєво впливають на шорсткість поверхні; глибина різання має незначний вплив на шорсткість поверхні. Отримані результати співвідносяться з дослідженнями для інших матеріалів [7-9].

Отже, найбільш доцільно проводити обточування деталей зі сталі 38ХМ на малих глибинах різання, на малих подачах та великих швидкостях різання. Малі глибини різання та подачі призводять до збільшення основного часу обробки, але збільшення швидкості різання дозволяє зменшити основний час. Встановлення оптимальних параметрів обробки дозволить отримати оптимальні значення шорсткості поверхні та зменшити основний час.

Пошук оптимальних режимів різання виконаємо за допомогою методу Тагучі. Цей метод широко застосовується для оцінки якості виробів. В основі методу Тагучі лежить пошук технологічних режимів, при яких відклик (параметр якості, який оцінюється) найменше змінюється під дією шумів – факторів, що не контролюються. Таку стійкість та здатність демпфувати шуми називають робастністю. Відповідно до методу Тагучі, при обробці результатів багатофакторного експерименту поряд зі звичайними відхиленнями відклику у кожному експерименті вимірюється показник, який визначається співвідношенням сигнал/шум ( $S/N$ ). Вказане співвідношення є мірою розкиду відклику для факторів, що контролюються, при варіюванні факторів, які не контролюються [14, 15]

Існує три типи співвідношення сигнал/шум, які визначаються залежно від того, яке задане значення відклику є оптимальним: якомога менше, якомога більше або деяке кінцеве.

Для забезпечення найменшої шорсткості поверхні необхідно застосувати співвідношення сигнал/шум «якомога менше», яке визначають за виразом [14; 15]:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right). \quad (10)$$

Результати проведеного експерименту і визначення співвідношення сигнал/шум ( $S/N$ ) поєднуємо в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати дослідження та співвідношення сигнал/шум

Номер досліджу	$s$ , мм/об	$t$ , мм	$v$ , м/хв	$y_1$ , мкм	$y_2$ , мкм	$y_3$ , мкм	$S/N$
1	0,07	1	80	3,61	4,30	3,75	-11,82
2	0,07	1	140	3,96	4,80	4,30	-12,80
3	0,34	2	80	5,28	6,00	5,60	-15,02
4	0,34	2	140	5,98	5,80	6,15	-15,53
5	0,07	1	80	2,79	3,20	3,00	-9,55
6	0,07	1	140	3,08	3,15	3,50	-10,23
7	0,34	2	80	3,61	3,50	4,00	-11,39
8	0,34	2	140	3,66	4,00	3,70	-11,57

Джерело: розроблено авторами.

Визначення похибки для кожного рівня досліджень виконуємо за виразом

$$\Delta = S/N_{\max} - S/N_{\min}. \quad (11)$$

Середнє співвідношення сигнал/шум на кожному рівні параметрів різання отримано шляхом усереднення на відповідних рівнях. Наприклад: середнє співвідношення сигнал/шум для швидкості різання  $v$  на нижньому рівні розраховано шляхом усереднення співвідношення сигнал/шум для експериментальних серій 1, 2 та 3 відповідно. Аналогічно визначаємо середнє співвідношення сигнал/шум для кожного рівня (табл. 5).

Таблиця 5 – Середнє відношення «сигнал/шум»

Рівень	$s$ , мм/об	$t$ , мм	$v$ , м/хв
Нижній	-11,1	-11,1	-11,94
Верхній	-13,38	-13,38	-12,53
$\Delta$	2,27	2,27	0,6
Ранг	1	2	3

Джерело: розроблено авторами.

Незалежно від типу експлуатаційної характеристики, високе значення співвідношення сигнал/шум свідчить, що досліджувана характеристика близька до хорошої якості. Отже, бажано орієнтуватися на більш високе значення співвідношення сигнал/шум (рис. 4).

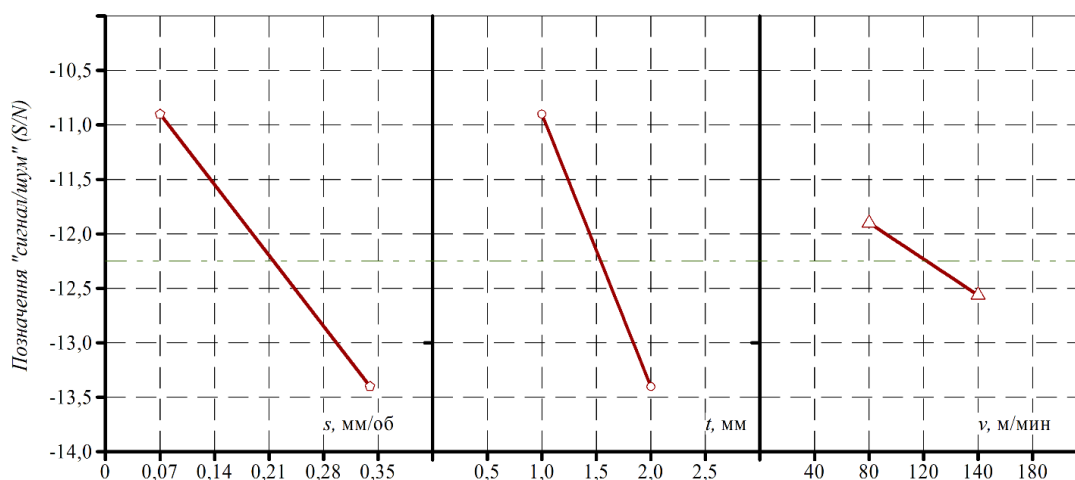


Рис. 4. Ділянка основних ефектів для коефіцієнтів сигнал/шум (S/N)

Джерело: розроблено авторами.

Оптимальні параметри режимів різання (подача – нижній рівень –  $s = 0,07$  мм/об; глибина різання – нижній рівень –  $t = 1$  мм; швидкість різання – нижній рівень –  $v = 80$  м/хв) при обточуванні сталі 38ХМ, визначені за методом Тагучі, дозволяють отримати оптимальні параметри шорсткості поверхні.

**Висновки.** У роботі запропоновано залежність шорсткості поверхні від режимів різання (подачі, швидкості та глибини різання), яка представлена рівнянням регресії у ступеневому вигляді. Виконано планування факторного експерименту типу  $2^3$ . Встановлено адекватність використання рівняння у ступеневому вигляді для аналізу шорсткості поверхні. Визначено залежність шорсткості поверхні від режимів різання при обточуванні сталі 38ХМ. Встановлено, що суттєво на шорсткість поверхні впливають подача та швидкість різання, глибина різання чинить незначний вплив на шорсткість поверхні. Доведена доцільність обточування деталей зі сталі 38ХМ на малих глибинах різання, на малих подачах та великих швидкостях різання. За допомогою методу Тагучі визначені оптимальні параметри режимів різання для відповідних умов обробки ( $s = 0,07$  мм/об;  $t = 1$  мм;  $v = 80$  м/хв). Показана ефективність доповнення методу повного факторного дослідження методом Тагучі.

#### Список використаних джерел

1. Graham, T. S. Cutting Tool Technology: Industrial Handbook / T. S. Graham. – London : Springer-Verlag, 2008. – 600 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-205-0>.
2. Klocke, F. Manufacturing Processes 1. Cutting / F. Klocke. – Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011. – 506 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11979-8>.
3. Liang, S. Analysis of Machining and Machine Tools / S. Liang, A.J. Shih. – New York : Springer, 2016. – 203 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7645-1>.
4. Shaw, M. C. Metal Cutting Principles / M. C. Shaw. – 2nd ed. – New York : Oxford University Press, 2005. – 651 p.
5. Mgherony, A. Comparison of Surface Roughness When Turning and Milling / A. Mgherony, B. Mikó, G. Farkas // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. – 2021. – № 65(4). – P. 337-344. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPme.17898>.
6. Optimization of machining parameters for turning operation with multiple quality characteristics using Grey relational analysis / F. Puh, Z. Jurković, M. Perinić, M. Brezocnik, S. Buljan // Tehnicki Vjesnik-technical Gazette. – 2016. – № 23. – P. 377-382. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20150526131717>

7. Taguchi Robust Design for Optimizing Surface Roughness of Turned AISI 1045 Steel Considering the Tool Nose Radius and Coolant as Noise Factors / A. T. Abbas, A. E. Ragab, F. Benyahia, M. S. Soliman // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2018. – P. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/2560253>.
8. Optimization of Surface Quality and Power Consumption in Machining Hardened AISI 4340 Steel / D. Ochengo, L. Liang, Z. Wei, H. Ning // *Advances in Materials Science and Engineering*. – 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2675003>.
9. Şahin, E. Statistical and Experimental Investigation of Hardened AISI H11 Steel in CNC Turning with Alternative Measurement Methods / E. Şahin, İ. Esen // *Advances in Materials Science and Engineering* – 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9480303>
10. Tanikić, D. Modelling and optimization of the surface roughness in the dry turning of the cold rolled alloyed steel using regression analysis / D. Tanikić, V. Marinković // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2012. – № 34 (1). DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-58782012000100006>.
11. Dean, A. *Design and Analysis of Experiments* / A. Dean, D. Voss, D. Draguljić. – Cham (Switzerland) : Springer, 2017. – 840 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52250-0>.
12. Antony, J. *Design of Experiments for Engineers and Scientists* / J. Antony. – Elsevier, 2014. – 208 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2012-0-03558-2>.
13. Taguchi, G. *Taguchi's quality engineering handbook* / G. Taguchi, S. Chowdhury, Y. Wu. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2004. – 1662 p.
14. Pinedo, M. L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services* / M. L. Pinedo. – New York : Springer-Verlag, 2009. – 536 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0910-7>.

### References

1. Graham, T. S. (2008). *Cutting Tool Technology*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-205-0>.
2. Klocke, F. (2011). *Manufacturing Processes 1*. Springer Berlin Heidelberg <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11979-8>.
3. Liang, S., & Shih, A.J. (2016). *Analysis of Machining and Machine Tools*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7645-1>.
4. Shaw, M. C. (2004). *Metal Cutting Principles (Oxford Series on Advanced Manufacturing)*. Oxford University Press, USA.
5. Mgherony, A., Mikó, B., & Farkas, G. (2021). Comparison of Surface Roughness When Turning and Milling. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.3311/ppme.17898>.
6. Puh, F., Jurković, Z., Perinić, M., Brezocnik, M., & Buljan, S. (2016). Optimization of machining parameters for turning operation with multiple quality characteristics using Grey relational analysis. *Tehnicki vjesnik-Technical Gazette*, 23(2). <https://doi.org/10.17559/tv-20150526131717>.
7. Abbas, A. T., Ragab, A. E., Benyahia, F., & Soliman, M. S. (2018). Taguchi Robust Design for Optimizing Surface Roughness of Turned AISI 1045 Steel Considering the Tool Nose Radius and Coolant as Noise Factors. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2018/2560253>.
8. Ochengo, D., Liang, L., Wei, Z., & Ning, H. (2022). Optimization of Surface Quality and Power Consumption in Machining Hardened AISI 4340 Steel. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/2675003>.
9. Şahin, E., & Esen, İ. (2021). Statistical and Experimental Investigation of Hardened AISI H11 Steel in CNC Turning with Alternative Measurement Methods. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2021/9480303>.
10. Tanikić, D. & Marinković, V. (2012). Modelling and optimization of the surface roughness in the dry turning of the cold rolled alloyed steel using regression analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 34(1). <https://doi.org/10.1590/S1678-58782012000100006>
11. Dean, A., Voss, D., & Draguljić, D. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52250-0>.
12. Jiju Antony (2014) *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2012-0-03558-2>.



13. Taguchi, G., Chowdhury, S. & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

14. Pinedo, M. L. (2009). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0910-7>.

Отримано 26.02.2024

UDC 621.91.01

**Yurii Yarovyi<sup>1</sup>, Volodymyr Frolov<sup>2</sup>, Serhii Sapon<sup>3</sup>, Iryna Isaienko<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Digital Technologies in Engineering  
Odesa Polytechnic National University (Odesa, Ukraine)

**E-mail:** [yarovoy.u.v@op.edu.ua](mailto:yarovoy.u.v@op.edu.ua), **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-6997-4108>, **ResearcherID:** [KBB-1945-2024](https://orcid.org/0000-0002-6997-4108)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [v.k.frolov@gmail.com](mailto:v.k.frolov@gmail.com), **ORCID** <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>, **ResearcherID:** [ACH-0071-2022](https://orcid.org/0000-0002-3697-286X)

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Wood Technology  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [s.sapon@gmail.com](mailto:s.sapon@gmail.com), **ORCID** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>, **ResearcherID:** [G-7764-2014](https://orcid.org/0000-0003-1082-6431)

<sup>4</sup>master

Odesa Polytechnic National University (Odesa, Ukraine)

**E-mail:** [elisdechart@gmail.com](mailto:elisdechart@gmail.com)

## STUDY OF SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF CHROMIUM-MOLYBDENUM STEEL

*Surface roughness is one of the parameters of product quality, that's why the research of cutting mode impact on surface roughness is a current topic. The diversity of cutting tools and materials to be worked leads to the need for more detailed study of the impact of cutting modes on surface roughness.*

*Previous researches have established that the radius of curvature of cutting tool and the cutter feed have an impact on surface roughness. There are also studies for assessing cutting speed and cutting depth effects on surface roughness. But these studies are not complete and exhaustive, because they have been done for selected materials, cutting tools and cutting modes.*

*The aim of the research described in the article is a scientific inquiry of cutting mode impact on surface roughness in turning of chromium-molybdenum steel 38XM and the search for optimal cutting modes for this steel.*

*The mathematical relationship between surface roughness and cutter feed, cutting depth, cutting speed was written in the form of power function. The range of variation was chosen. Regression coefficients were defined on the methodology of full factor experiment of type 23. The constructed mathematical model has been checked for adequacy. The equation of surface roughness dependence on cutting mode in turning of 38XM steel was obtained.*

*Finding the best possible combinations of cutter feed, cutting depth, cutting speed values for turning of 38XM steel was undertaken using the Taguchi method. It was based on the search for technological modes in which the evaluated quality parameter is least affected by uncontrolled factors.*

*As a result of the research it is established that cutting speed and cutting feed have the greatest impact on surface roughness. It is also shown that cutting depth has a negligible impact on surface roughness. It is proved that the machining processed at small cutting depth and small feed and large cutting speed is most appropriate. The optimal cutting modes for turning, providing minimal surface roughness are determined.*

*Thus, the complex use of full factor experiment method and the Taguchi method made it possible not only to obtain the equation for the dependence, but also to determine optimal cutting modes.*

**Keywords:** surface roughness; cutting speed; cutting feed; cutting depth; design of experiment; Taguchi method.

*Fig.: 4. Tabl.:5. References: 14.*