

Д.С. Бондар, асистент  
Н.О. Балицька, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Розподіл профільних та ареальних параметрів шорсткості за розташуванням аналізованої ділянки на фрезерованих поверхнях заготовок з титанового сплаву

*Шорсткість поверхні впливає на експлуатаційні характеристики та термін служби деталей. Розуміння відмінностей між профільним та ареальним методами визначення шорсткості поверхні дозволяє більш детально аналізувати текстуру механічно оброблених поверхонь. Стаття присвячена розгляду різних підходів до оцінки мікрогеометрії поверхонь, а саме профільного та ареального методів. У роботі визначено параметри шорсткості поверхні після сухого торцевого фрезерування титанового сплаву марки ВТ1-0 зі змінними режимами різання із урахуванням положення кожної із 25 аналізованих ділянок на всій обробленій поверхні. В результаті дослідження було розроблено мапи шорсткості фрезерованих поверхонь, визначено та порівняно розкид значень таких параметрів шорсткості, як Ra та Sa для профільного та ареального методів відповідно. Визначено режими різання, за яких забезпечується мінімальний розкид параметрів шорсткості за всією площею обробленої поверхні. Особливу увагу спрямовано на перспективи застосування саме ареального методу вимірювання шорсткості. Обґрунтовано необхідність подальших наукових пошуків у напрямі оцінки текстури механічно оброблених поверхонь для розробки рекомендацій щодо вибору технологічних умов обробки для забезпечення необхідної шорсткості і рівномірності мікрорельєфу таких поверхонь.*

**Ключові слова:** торцеве фрезерування; профілограма; мапа шорсткості; текстура поверхні; режими різання.

**Актуальність теми.** Експлуатаційні властивості поверхонь деталей в низці випадків визначаються їх якістю. В свою чергу вимоги до текстури поверхні виробів зумовлюють особливості технологічних процесів їх виготовлення. Все це робить оцінку текстури механічної поверхні одним із ключових аспектів контролю якості. Це особливо важливо при різанні широко застосовуваних важкооброблюваних матеріалів, до яких належать титанові сплави.

Вимірювання шорсткості механічно оброблених поверхонь зазвичай здійснюється профільним методом. Згідно з ДСТУ ISO 4287:2012 [1] для цього методу визначається шість параметрів оцінки шорсткості (висотні: Ra – середнє арифметичне відхилення профілю, Rz – висота нерівностей профілю по 10 точках, Rmax – найбільша висота профілю; крокові: S – середній крок місцевих виступів профілю, Sm – середній крок нерівностей профілю за середньою лінією; висотно-кроковий: tr – відносна опорна довжина профілю, де p – значення рівня перерізу профілю) [2]. Очевидно, що для ґрунтового аналізу поверхневого мікрорельєфу високоточних виробів застосування лише профільних характеристик шорсткості поверхні є недостатнім.

Більш інформативним є ареальний метод описання просторової мікроструктури поверхні. Ця проблема вирішується в ISO 25178-2:2021 (Частина 2) [3], в якому параметри текстури поверхні визначаються за допомогою аналізу її поверхневих ареальних характеристик. В Україні досі не було прийнято відповідного ДСТУ, що негативно впливає на оцінку текстури поверхні виробів в різних галузях промисловості та на результати наукових досліджень. Варто також зазначити, що визначення ареальних параметрів шорсткості поверхні вимагає застосування сучасних оптичних 3D-профілометрів, мікроскопів та/або спеціального програмного забезпечення. Доступність до цього обладнання обмежується його високою вартістю, що є проблемою для багатьох дослідницьких та промислових лабораторій [4].

Торцеве фрезерування титанових сплавів широко застосовується як один із найбільш продуктивних способів виготовлення виробів для автомобільної, авіаційної, космічної промисловості тощо. З огляду на це, завдання аналізу параметрів шорсткості фрезерованих поверхонь титанових сплавів, визначених профільним та ареальним методами, є актуальним для сучасного рівня машинобудівних технологій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Значний внесок у розвиток методів вимірювання шорсткості зробили E.J. Abbott, F.A. Firestone, G.Schmaltz, розробивши фундаментальні основи та вимірювальні інструменти визначення параметрів шорсткості [5, 6].

Шорсткість поверхонь залежить від режимів різання, а також від інших умов обробки, таких як властивості інструментальних та оброблюваних матеріалів, геометрія інструменту та зносостійкості покриття, стійкість різального інструменту, точність та динамічна стійкість верстата та оснащення, схема різання, стратегія оброблення та методи застосування мастильно-охолоджувальних технологічних

середовищ та ін. Постійний контроль цих параметрів з метою досягнення оптимального рівня шорсткості є складним технологічним завданням [7].

Відомо про значну кількість робіт, присвячених дослідженню впливу технологічних факторів на текстуру фрезерованих поверхонь. Наприклад, у [8] розглянуто вплив режимів різання на шорсткість поверхні після торцевого фрезерування. Вкотре доведено, що збільшення швидкості подачі викликає значне зростання показників шорсткості поверхні. Це пояснюється вкладом геометричної складової шорсткості, збільшенням вібрацій та нагріванням інструменту, формуванням переривчастої стружки, яка налипає між заготовкою та фрезою тощо.

На сьогоднішній момент більшість робіт із дослідження шорсткості поверхні ґрунтуються на застосуванні профільного методу як класичного, у якому основним параметром є середнє арифметичне відхилення профілю [9]. Очевидно, що для виробничого контролю якості оброблених поверхонь недостатньо лише двовимірних характеристик параметрів шорсткості, а необхідним є також комплексний тривимірний опис [10].

В останні десятиліття активно ведуться дослідження з розробки міжнародних стандартів, еталонів і засобів вимірювання шорсткості поверхні на основі її тривимірного аналізу. У недавніх роботах [11, 12] було доведено перспективу застосування ареального методу вимірювання шорсткості поверхні. Авторами визначено, що результати вимірювання шорсткості профільним методом залежать від розташування та напрямку лінії профілю, що обмежує достовірність отриманих даних. При цьому доведено, що ареальний метод вимірювання шорсткості враховує більш широкий спектр структури поверхні, а це забезпечує більш інформативне описання топології поверхні. Разом з тим аналіз літератури свідчить про потребу в подальших дослідженнях щодо більш глибокого аналізу профільних та ареальних параметрів шорсткості фрезерованих поверхонь.

**Метою статті** є порівняльний аналіз розподілу середніх арифметичних значень відхилення профілю  $R_a$  та висоти поверхні  $S_a$  за розташуванням аналізованої ділянки на оброблених плоских поверхнях заготовок з титанового сплаву ВТ1-0 після сухого торцевого фрезерування при змінних режимах різання.

**Викладення основного матеріалу.** Профільний метод є одним із найпоширеніших методів визначення шорсткості поверхонь завдяки своїй простоті, ефективності, доступному вимірювальному обладнанню. Він ґрунтується на вимірюванні профілю поперечного перерізу нерівностей поверхні. Проте його обмеження стимулюють розвиток нових методів, таких як ареальний аналіз шорсткості поверхонь, який дозволяє отримати більш комплексну інформацію про стан поверхневого мікрорельєфу.

Ареальний метод вимірювання шорсткості є сучасним підходом, який дозволяє оцінювати шорсткість поверхні на основі тривимірного аналізу всієї площі, а не лише уздовж однієї лінії. Цей метод надає більш детальну і повну інформацію про топологію поверхні, враховуючи складні та анізотропні структури.

Під час визначення параметрів шорсткості за ареальним методом фільтри розділяють виміряні дані топографії поверхні на компоненти різного масштабу. Фільтри ареального методу поділяються на три типи: S-фільтр, L-фільтр і F-фільтр. Перший тип видаляє небажані дрібномасштабні компоненти для отримання первинної поверхні. L-фільтр видаляє непотрібні великомасштабні компоненти. F-фільтр здійснює видалення номінальної форми на поверхні, щоб уникнути зміщення форми поверхні зразка (рис. 1) [13].

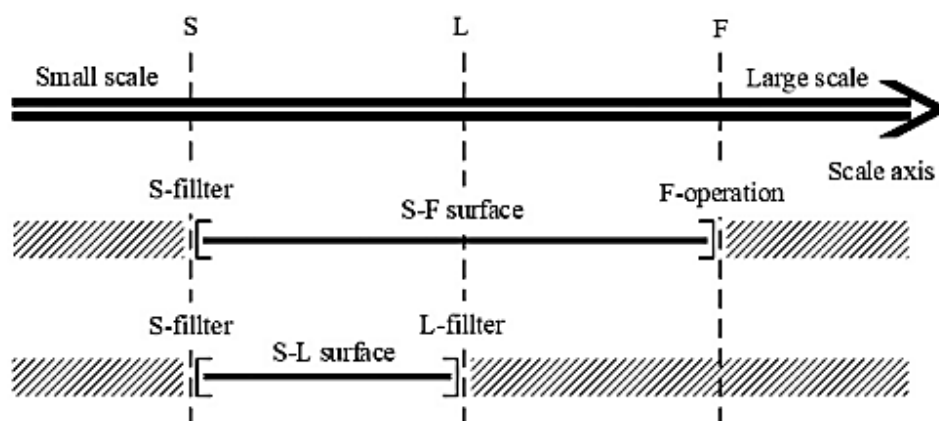


Рис. 1. Взаємозв'язок між параметрами та фільтрацією профілю при ареальному методі визначення шорсткості поверхні [13]

При ареальному методі вимірювання шорсткості поверхні виділяються різноманітні топографічні особливості поверхні. Виступи вище центральної площини називаються піками, а їх найвищі точки – вершинами. Параметри, які розташовані нижче центральної площини, називаються жолобами, а їх

найнижчі точки – впадинами. На рисунку 2 представлено криву ймовірності коефіцієнта змінання матеріалу, на якій коефіцієнт області змінання виражається у вигляді Гаусової ймовірності значень стандартного відхилення, які відкладені лінійно на горизонтальній осі.

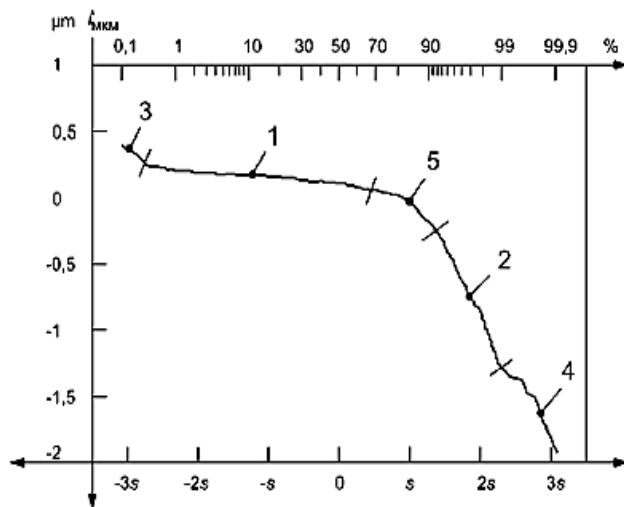


Рис. 2. Крива ймовірності коефіцієнту змінання матеріалу [3]:

(1 – область плато, 2 – область впадини, 3 – залишки або піки, що виходять за певні межі; 4 – глибокі насічки або впадини, що виходять за певні межі; 5 – нестабільна ділянка (вигин), включена в точку переходу плато-впадин на підставі комбінації двох розподілів)

Ареальний метод вимірювання шорсткості налічує 24 типи параметрів текстури поверхні, які поділяються на 5 категорій. Параметри висоти:  $S_q$  – середньоквадратичне значення висоти поверхні;  $S_{sk}$  – асиметрія поверхні;  $S_{su}$  – ексцес поверхні;  $S_p$  – максимальна висота піка поверхні;  $S_v$  – максимальна висота провалу поверхні обмеженого масштабу;  $S_z$  – максимальна висота поверхні;  $S_a$  – середнє арифметичне значення висоти поверхні. Просторові параметри:  $S_{al}$  – довжина автокореляції;  $S_{tr}$  – співвідношення геометричних розмірів структури;  $S_{td}$  – напрямок текстури. Гібридні параметри:  $S_{dq}$  – середньоквадратичний градієнт поверхні;  $S_{dr}$  – розгорнуте співвідношення граничної площі поверхні обмеженого масштабу;  $S_{pc}$  – середнє арифметичне висоти викривлення. Функціональні параметри:  $S_k$  – висота ядра;  $S_{pk}$  – знижена висота піка;  $S_{vk}$  – знижена висота впадин;  $S_{mr1}$  – коефіцієнт змінання (відношення «піків» області матеріалу на лінії перетину, яка відокремлює виступи, що випинаються, від поверхні ядра, до області оцінювання);  $S_{mr2}$  – коефіцієнт змінання (відношення «впадин» області матеріалу на лінії перетину, яка відокремлює виступаючі жолоби від поверхні ядра, до області оцінювання);  $S_{xp}$  – максимальна висота піка. Параметри функціонального обсягу:  $V_{vv}$  – об’єм порожнин;  $V_m$  – об’єм матеріалу;  $V_{vc}$  – об’єм порожнин ядра;  $V_{mp}$  – об’єм матеріалу піків поверхні;  $V_{mc}$  – об’єм матеріалу ядра поверхні [3].

На даному початковому етапі дослідження як параметр для порівняння двох методів визначення шорсткості було обрано найбільш інформативний, з нашої точки зору, – середнє арифметичне значення відхилення профілю  $Ra$  / висоти поверхні  $Sa$ .

**Методика дослідження.** Досліджувані зразки з титанового сплаву VT1-0 розмірами 30×30×30 мм було профрезеровано на обробному центрі DMU 80 eVo Deckel Maho за попутною схемою. Для сухої лезової обробки застосовувалася торцева фреза CoroMill 300 [14] діаметром 44 мм з механічним кріпленням восьми пластинок з твердого сплаву марки H13A без покриття.

Хімічний склад та механічні характеристики титанового сплаву VT1-0 наведено в таблицях 1–2.

Таблиця 1

Хімічний склад титанового сплаву VT1-0 (%)

Fe	C	Si	N	Ti	O	H	Домішки
до 0,25	до 0,07	до 0,1	до 0,04	99,24...99,7	до 0,2	до 0,01	інші 0,3

Таблиця 2

Механічні властивості титанового сплаву VT1-0 при  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Межа короткочасної міцності $\sigma_B$ , МПа	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Подовження при розриві, %	Твердість НВ, МПа
355...540	500...1000	19...20	131...163

Для цього досліджено було оброблено 3 поверхні з вказаними режимами різання у таблиці 3.

Таблиця 3

Режими фрезерування

Номер поверхні	V, м/хв	S, мм/зуб	t, мм
1	20	0,2	0,75
2	100	0,05	0,75
3	60	0,125	0,75

Вимірювання параметрів шорсткості проводилося за допомогою оптичного 3D-профілометра KEYENCE серії VR-6000. Цей прилад використовує високоінтенсивне світлодіодне світло та 4-мегапксельну монохромну CMOS-матрицю для отримання одномоментної смуги.

Фрезеровані поверхні зразків були повністю проскановані зі збільшенням у 40 разів (рис. 3).

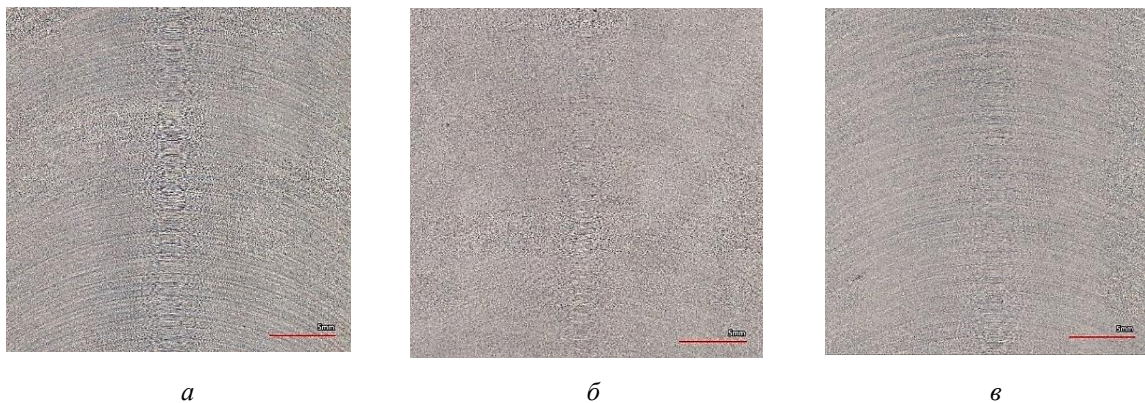


Рис. 3. Скановані поверхні титанового сплаву після торцевого фрезерування:  
а) поверхня 1; б) поверхня 2; в) поверхня 3

Кожну поверхню дослідного зразка було розділено на квадрати 5,5x5,5 мм, таким чином всього було отримано 25 таких ділянок (рис. 4).

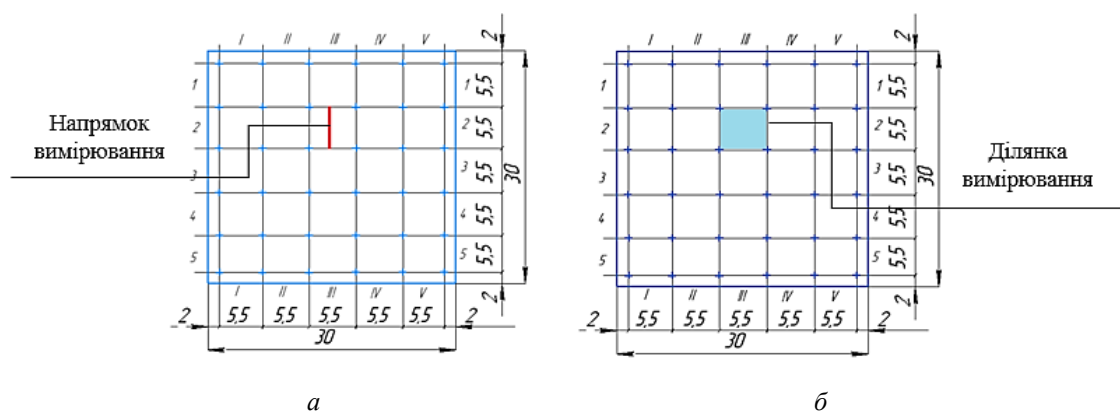


Рис. 4. Схема вимірювання шорсткості поверхонь зразків:  
а) профільний метод; б) ареальний метод

У цьому дослідженні для визначення параметрів шорсткості було застосовано фільтр профілю  $\lambda_c = 0,8$ . Базова довжина вимірювання складала 5 мм (рис. 5).

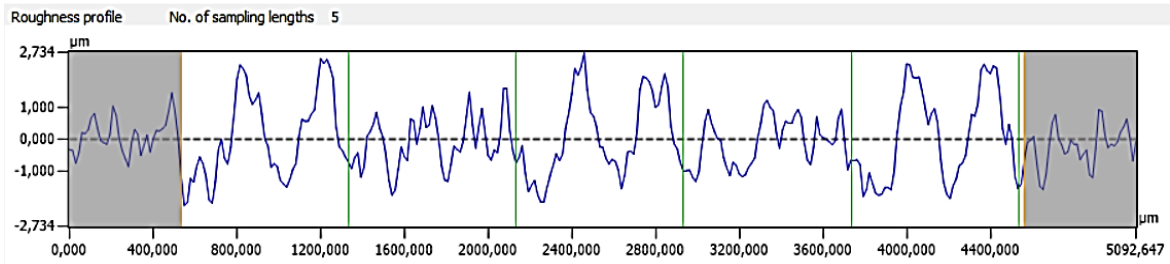


Рис. 5. Профілограма поверхні зразка із титанового сплаву після торцевого фрезерування (зразок № 1, ділянка 3-III)

Отримані 3D-графіки поверхні зразків розмірами 3x3 мм зазначено на рисунку 6.

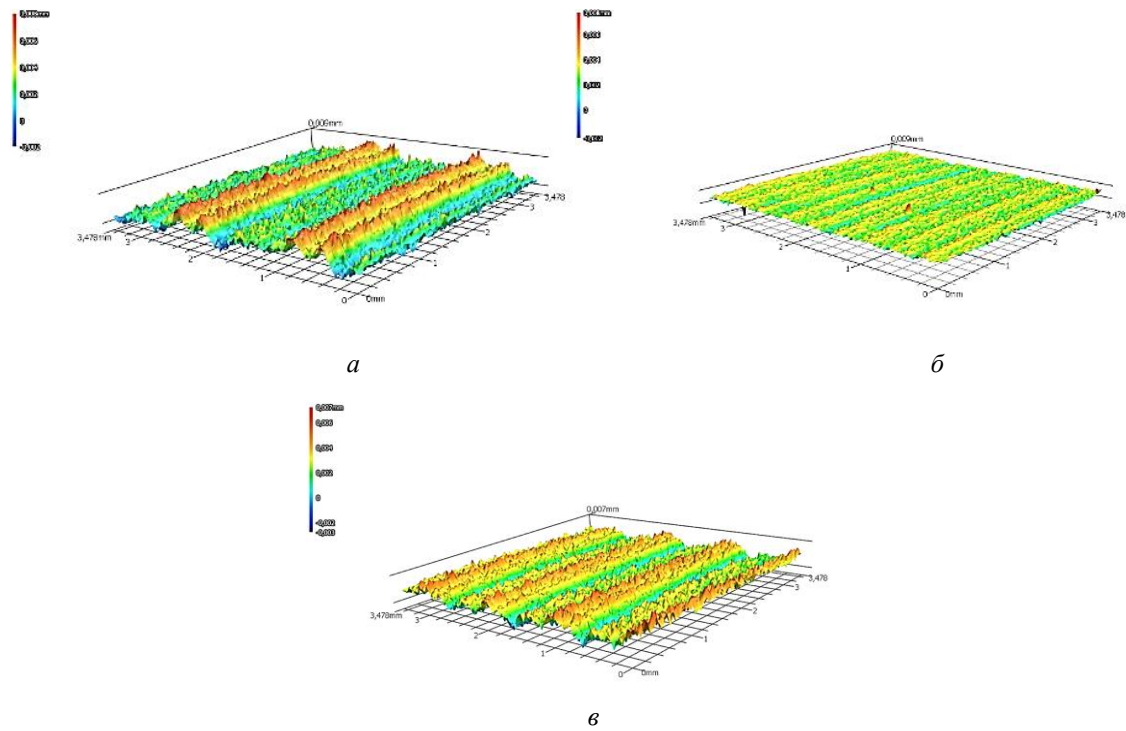


Рис. 6. 3D-графіки фрезерованих поверхонь (3x3 мм):  
а) поверхня 1; б) поверхня 2; в) поверхня 3

Для візуалізації отриманих результатів було застосовано програму OriginPro. Мапи шорсткості побудовано у стилі «heat map» (теплові карти), який відображає значення головної змінної (Ra/Sa) за двома осями у вигляді сітки кольорових квадратів (рис. 7–9).

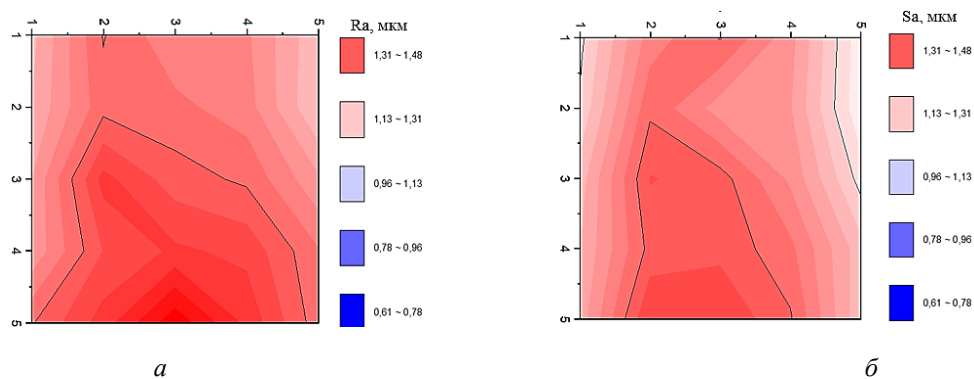


Рис. 7. Мапи шорсткості поверхні № 1:  
а) профільний метод; б) ареальний метод

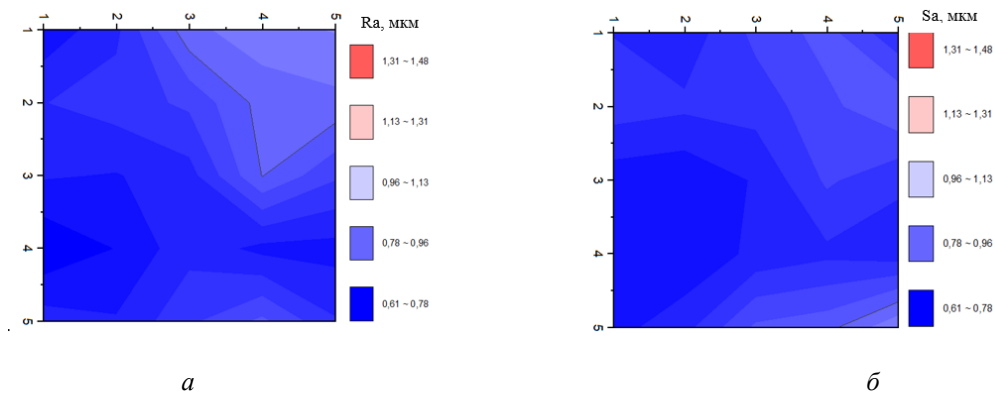


Рис. 8. Мапи шорсткості поверхні № 2:  
а) профільний метод; б) ареальний метод

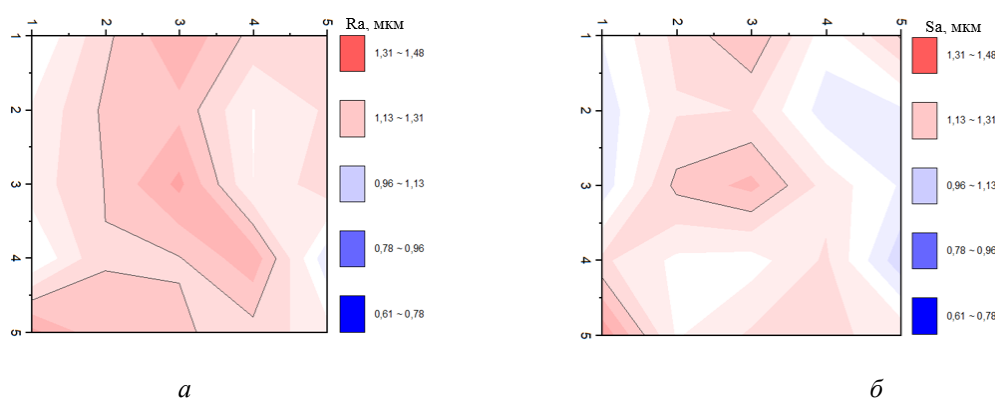


Рис. 9. Мапи шорсткості поверхні № 3:  
а) профільний метод; б) ареальний метод

Дані мап дозволяють стверджувати, що за профільним та ареальним методами визначення шорсткості отримано в цілому подібні результати щодо розподілу параметрів шорсткості Ra/Sa за площею зразка.

Отримані результати показали наявність взаємозв'язку між режимами різання та значеннями Ra/Sa шорсткості поверхні. Найнижчі значення Ra/Sa отримано на найвищій швидкості різання та найменшій подачі ( $V = 100$  м/хв,  $Sz = 0,05$  мм/зуб,  $t = 0,75$  мм), а найвищі – на найнижчій швидкості та високій подачі ( $V = 20$  м/хв,  $Sz = 0,2$  мм/зуб,  $t = 0,75$  мм).

Отже, найнижчі та найвищі значення шорсткості за профільним та ареальним методами, на кожній із досліджуваних ділянок, збігаються за розташуванням на поверхні зразка. Значення шорсткості за профільним методом у більшості випадків є вищими за ареальні.

Було розраховано розкид значень шорсткості поверхні кожного дослідного зразка (табл. 4–5).

Таблиця 4

Розкид значень шорсткості Ra за профільним методом вимірювання

№ поверхні	t, мм	V, м/хв	Sz, мм/зуб	Параметр	Ra <sub>max</sub>	Ra <sub>min</sub>	Відхилення (%)
1	0,75	20	0,2	$\frac{Ra_{max} - Ra_{min}}{Ra_{min}}$	1,473	1,160	26,98
2		100	0,05		0,844	0,640	37,46
3		60	0,125		1,214	0,996	21,89

Таблиця 5

Розкид значень шорсткості Sa за ареальним методом вимірювання

№ поверхні	t, мм	V, м/хв	Sz, мм/зуб	Параметр	Sa <sub>max</sub>	Sa <sub>min</sub>	Відхилення (%)
1	0,75	20	0,2	$\frac{Sa_{max} - Sa_{min}}{Sa_{min}}$	1,391	1,079	26,51
2		100	0,05		0,839	0,640	31,09
3		60	0,125		1,200	1,024	17,19

Згідно з отриманими даними найбільший розкид Ra/Sa спостерігається за найвищої швидкості різання та найменшої подачі (чистова обробка), найменше відхилення – за середньої швидкості різання та середньої подачі, і відповідно середнє відхилення значень отримано на найменшій швидкості та найвищій подачі (чорнова обробка). Відповідно більш рівномірну якість поверхні, серед досліджуваних режимів, забезпечує такий режим різання:  $V = 20$  м/хв,  $S_z = 0,2$  мм/зуб,  $t = 0,75$  мм.

Виконане експериментальне дослідження свідчить про необхідність визначення режимів різання, які забезпечують не лише мінімальну шорсткість поверхні, а і її рівномірність за всією площею обробленої поверхні, адже обидві ці властивості можуть впливати на функціональні властивості поверхонь.

**Висновки.** В результаті проведеного експерименту за допомогою оптичного профілометра визначено середні арифметичні значення відхилення профілю Ra та висоти поверхні Sa із урахуванням положення кожної із 25 аналізованих ділянок на всій обробленій поверхні зразків з титанового сплаву ВТ1-0 після сухого торцевого фрезерування за таких режимів різання:  $V = 20$  м/хв;  $S_z = 0,2$  мм/зуб;  $t = 0,75$  мм;  $V = 100$  м/хв;  $S_z = 0,05$  мм/зуб;  $t = 0,75$  мм;  $V = 60$  м/хв;  $S_z = 0,125$  мм/зуб;  $t = 0,75$  мм.

На основі отриманих даних за допомогою програми OriginPro розроблено мапи розподілу шорсткості за всією обробленою поверхнею зразків, визначено та порівняно розкид значень цих параметрів шорсткості за профільним та ареальним методами. Показано, що найнижчі та найвищі значення шорсткості за профільним та ареальним методами, на кожній із досліджуваних ділянок збігаються за розташуванням на поверхні зразка. Значення шорсткості за профільним методом переважно є вищими за ареальні.

Визначено режим різання, за якого забезпечується мінімальний розкид параметрів шорсткості за всією площею обробленої поверхні:  $V = 20$  м/хв;  $S_z = 0,2$  мм/зуб;  $t = 0,75$  мм.

Встановлено, що найбільший розкид значень Ra/Sa в досліджуваному діапазоні режимів різання спостерігається при найвищій швидкості різання ( $V = 100$  м/хв) та найменшій подачі ( $S_z = 0,05$  мм/зуб), тобто за умов чистової обробки, які забезпечують мінімальне значення шорсткості. Це зумовлює необхідність під час розробки технологічних процесів визначати режими фрезерування, які забезпечують не лише мінімальну шорсткість поверхні, а і її рівномірність за всією площею обробленої поверхні, адже обидві ці властивості можуть впливати на функціональні властивості поверхонь.

Результати цієї роботи стануть основою для подальших більш глибоких досліджень у напрямі аналізу мікрорельєфу фрезерованої поверхні за допомогою набору інших ареальних параметрів, які представляють більш інформативний і ефективний метод описання текстури поверхні.

#### Список використаної літератури:

1. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури : ДСТУ ISO 4287:2012. – 2013.
2. *Балицька Н.О.* Ареальні параметри текстури поверхні / *Н.О. Балицька, Д.С. Бондар* // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 15–16 травня. – 2023. – 72 с.
3. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal. – Part 2 : Terms, definitions and surface texture parameters : ISO 25178-2:2021. – 2021.
4. *Балицька Н.О.* Мультифрактальний аналіз текстури механічно обробленої поверхні / *Н.О. Балицька, П.П. Москвін, П.П. Мельничук* // Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті : матеріали 23-го Міжнародного науково-технічного семінару, 15–16 березня. – Київ : АТМ України, 2023. – С. 3–5.
5. *Abbott E.J.* Specifying Surface Quality. A Method Based on Accurate Measurement and Comparison / *E.J. Abbott, F.A. Firestone* // Journal of Mechanical Engineering. – 1933. – P. 569–572.
6. *Schmaltz G.* Oberflächenbeschaffenheit und Passungen: II. Mitteilung PreBsits / *G.Schmaltz* // Journal of the Japan Society of Precision Engineering. – 1936. – № 4. – P. 268–276.
7. *Antic A.* The Influence of Tool Wear on the Chip-Forming Mechanism and Tool Vibrations / *A.Antic, P.B. Petrovic* // Materials in tehnologije. – 2012. – Vol. 46, No. 3. – P. 279–285.
8. *Petropoulos G.* Study of the main variability aspects of surface texture of steel in face milling / *G.Petropoulos, C.Pandazaras, I.Stamos* // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2013. – Vol. 217, No. 2. – P. 175–180.
9. *Солод В.Ю.* Наближене інтегрування при визначенні шорсткості поверхні / *В.Ю. Солод, О.В. Нікулін* // Машинобудування. Механіка. – 2018. – С. 51–53.
10. *Повстяной О.Ю.* Аналіз сучасних методів визначення структури та топології поверхонь матеріалів / *О.Ю. Повстяной* // Технічна діагностика і неруйнівний контроль. – 2014. – № 2. – С. 37–42.
11. *Korkut I.* The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling / *I.Korkut, M.A. Donertas* // Materials and Design. – 2017. – № 28. – P. 308–312.
12. *Harcarik M.* Relationship between values of profile and areal surface texture parameters / *M.Harcarik, R.Jankovych* // MM Science Journal. – 2016. – № 3. – P. 1659–1662.
13. *He B.* A comparison between profile and areal surface roughness parameters / *B.He, S.Ding, Z.Shi* // Metrol. Meas. Syst. – 2021. – Vol. 28, No. 3. – P. 413–438.
14. Фреза CoroMill 300 / Sandvik Coromant [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.henka.de/r300-32eh25-10h-r300-32eh25-10h/R300-32EH25-10H>.



## References:

1. DSTU ISO 4287:2012. *Tekhnichni vymohy do heometrii vyrobiv (GPS). Struktura poverkhni. Profilnyi metod. Terminy, vyznachennia poniat i parametry struktury* (2013).
2. Balytska, N.O. and Bondar, D.S. (2023), «Arealni parametry tekstury poverkhni», *Materialy Vseukrainskoi naukovopraktychnoi internet konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh, prysviachenoï Dniu nauky*, 15–16 travnia, 72 p.
3. ISO 25178-2:2021. *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters* (2021).
4. Balytska, N.O., Moskvyn, P.P. and Melnychuk, P.P. (2023), «Multyfraktalni analiz tekstury mekhanichno obroblenoi poverkhni», *Suchasni pytannia vyrobnytstva ta remontu v promyslovosti i na transporti*, materialy 23-ho Mizhnarodnoho naukovotekhnichnoho seminaru, 15–16 bereznia, ATM Ukrainy, Kyiv, pp. 3–5.
5. Abbott, E.J. and Firestone, F.A. (1933), «Specifying Surface Quality. A Method Based on Accurate Measurement and Comparison», *Journal of Mechanical Engineering*, pp. 569–572.
6. Schmaltz, G. (1936), «Oberflächenbeschaffenheit und Passungen: II. Mitteilung PreBsits», *Journal of the Japan Society of Precision Engineering*, No. 4, pp. 268–276.
7. Antic, A. and Petrovic, P.B. (2012), «The Influence of Tool Wear on the Chip-Forming Mechanism and Tool Vibrations», *Materiali in tehnologije*, Vol. 46, No. 3, pp. 279–285.
8. Petropoulos, G., Pandazaras, C. and Stamos, I. (2013), «Study of the main variability aspects of surface texture of steel in face milling», *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part J. Journal of Engineering Tribology*, Vol. 217, No. 2, pp. 175–180.
9. Solod, V.Iu. and Nikulin, O.V. (2018), «Nablyzhene intehruvannia pry vyznachenni shorstkosti poverkhni», *Mashynobuduvannia. Mekhanika*, pp. 51–53.
10. Povstianoi, O.Yu. (2014), «Analiz suchasnykh metodiv vyznachennia struktury ta topolohii poverkhon materialiv», *Tekhnichna diahnostyka i neruinivnyi kontrol*, No. 2, pp. 37–42.
11. Korkut, I. and Donertas, M.A. (2017), «The influence of feed rate and cutting speed on the cutting forces, surface roughness and tool–chip contact length during face milling», *Materials and Design*, No. 28, pp. 308–312.
12. Harcarik, M. and Jankovych, R. (2016), «Relationship between values of profile and areal surface texture parameters», *MM Science Journal*, No. 3, pp. 1659–1662.
13. He, B., Ding, S. and Shi, Z. (2021), «A comparison between profile and areal surface roughness parameters», *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. 28, No. 3, pp. 413–438.
14. Sandvik Coromant, *Freza CoroMill 300*, [Online], available at: <https://www.henka.de/r300-32eh25-10h-r300-32eh25-10h/R300-32EH25-10H>

**Бондар Дарина Сергіївна** – асистент кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0009-8917-6486>.

Наукові інтереси:

- дослідження процесів механічної обробки важкооброблюваних матеріалів;
- методи дослідження текстури поверхонь.

**Балицька Наталія Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-1363-8110>.

Наукові інтереси:

- забезпечення експлуатаційних характеристик виробів формуванням періодичної текстури поверхонь;
- дослідження процесів механічної обробки важкооброблюваних матеріалів;
- проектування різальних інструментів.

**Bondar D.S., Balytska N.O.**

**Distribution of profile and area roughness parameters  
by the location of the analyzed area on the milled surfaces of titanium alloy workpieces**

Surface roughness affects the performance and service life of parts. Understanding the differences between the profile and area methods of determining surface roughness allows obtaining more data for analyzing the texture of machined surfaces. This article is devoted to the consideration of different approaches to the assessment of surface microgeometry, namely the profile and area methods. The work determined the parameters of surface roughness after dry face milling of titanium alloy with variable cutting conditions, taking into account the position of each of the 25 analyzed areas on the machined surface. As a result of the study, roughness maps of milled surfaces were developed, and the scatter of values of such roughness parameters as Ra and Sa for the profile and area methods were determined and compared, respectively. The cutting modes that ensure the minimum range of roughness parameters over the entire area of the machined surface are determined.

Particular attention is paid to the prospects of applying the areal method of roughness measurement. The necessity of further scientific research in the direction of assessing the texture of machined surfaces to develop recommendations for the choice of technological conditions to ensure the required roughness and uniformity of the microrelief of such surfaces is substantiated.

**Keywords:** face milling, profilogram, roughness map, surface texture, cutting modes.

Стаття надійшла до редакції 14.03.2024.