

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-58-67](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-58-67)

УДК 621.91

**Андрій Сергійович Манохін¹, Сергій Анатолійович Клименко²,
Сергій Анатолійович Клименко³**

¹кандидат технічних наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: the.manokhin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>

ResearcherID: [DGN-4506-2022](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482). SCOPUS Author ID: [37059129600](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482)

²доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, заступник директора з наукової роботи

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: atmu@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>

ResearcherID: [Q-8928-2019](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771). SCOPUS Author ID: [57221904325](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771)

³кандидат технічних наук, старший дослідник,

старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: alcon1202@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>

ResearcherID: [FFQ-3675-2022](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519). SCOPUS Author ID: [57197629303](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519)

ПАРАМЕТРИ ПЕРЕРІЗУ ЗРІЗУ ПІД ЧАС ФІНІШНОГО ТОЧІННЯ РІЗЦЯМИ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗА КОСОКУТНОЮ СХЕМОЮ РІЗАННЯ

Наведено результати досліджень форми та розмірів перерізів зрізу, що мають місце у процесі фінішного точіння різцями з прямолинійною, увігнутою та випуклою різальними кромками, які працюють за косокутною схемою різання. З врахуванням того, що переріз зрізу обмежений різальною кромкою та лініями перетину основної площини інструменту з поверхнею, обробленою на попередньому оберті виробу (однопорожнинний гіперболоїд обертання) та ще необробленою поверхнею (циліндр) виробу, запропонований алгоритм розрахунку показників перерізу зрізу. Показано, що співвідношення довжини активної частини різальної кромки різця до середньої товщини зрізу знижується при збільшенні кута нахилу різальної кромки, однак для інструментів з прямолинійною та увігнутою різальними кромками така зміна має значно інтенсивніший характер при $\lambda < 20^\circ$, а для різця з випуклою різальною кромкою – при $\lambda > 20^\circ$. Найбільшу шорсткість на обробленій поверхні формує різець з випуклою різальною кромкою, а за рахунок зміни прямолинійної різальної кромки на увігнуту можливо значно зменшити висоту мікронерівностей на обробленій поверхні.

Ключеві слова: косокутна схема різання; переріз зрізу; прямолинійна; увігнута; випукла різальна кромка; довжина активної частини різальної кромки; товщина стружки; шорсткість обробленої поверхні.

Рис.: 5. Бібл.: 16.

Актуальність теми досліджень. Тенденції розвитку процесів механічної обробки, як будь-якої технічної системи, пов'язані зі спрямованим забезпеченням отримання максимального результату з мінімальними витратами. Стосовно фінішних технологій обробки це пов'язано з високою продуктивністю з'єму матеріалу припуску і формуванням у поверхневому шарі виробу такого стану, який би найліпшим чином забезпечував працездатність виробу в експлуатації [1–3]. Відповідність процесів обробки відміченої тенденції забезпечується, зокрема, шляхом збільшення зони взаємодії інструмента з виробом, що може бути досягнуто за рахунок підвищення площі контакту інструмента з виробом, а також заміни точкового контакту інструмента з виробом на розподілений за його поверхнею.

Створення різальних інструментів, використання яких дозволяє забезпечити потрібні показники якості поверхні та стану поверхневого шару оброблених виробів при високій продуктивності процесу обробки, є важливою складовою для розвитку сучасного виробництва.

Постановка проблеми. До числа інструментів, які працюють зі збільшеною ділянкою контакту з оброблюваним виробом, належать різці, що працюють за косокутною схемою різання. При цьому це можуть бути інструменти з однією прямолинійною різальною кромкою («бриючі» інструменти), а також інструменти, які працюють виключно в межах радіусної частини при вершині, або інструменти, які мають також головну та допоміжну різальні кромки. Звичайно, до останніх можна віднести більшість існуючих різальних інструментів, але вплив кута нахилу різальної кромки λ на продуктивність обробки та якість обробленого виробу суттєво проявляється за його значних величин.

Закономірності різання косокутним інструментом суттєво пов'язані з параметрами перерізу зрізу залежно від величини кута нахилу різальної кромки λ , визначення яких до цього часу не виконано повною мірою, що потребує подальшого дослідження для випадків використання інструментів різного виконання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес обробки з косокутною схемою різання розглядався в багатьох публікаціях [4; 5] при виготовленні виробів інструментами з різних матеріалів, у тому числі загартованих сталей різцями, оснащеними компонентами на основі кубічного нітриду бору, наприклад [6].

Аналіз технічної літератури показує наявність декількох підходів та алгоритмів розрахунку параметрів перерізу зрізу для випадку обробки інструментом з однією різальною кромкою. Зокрема, у роботах [7–9] запропоновано геометричні моделі та аналітичні залежності, що враховують просторове положення різальної кромки та її нахил до осі обертання деталі. У роботі [7] розглянуто метод визначення перерізу зрізу з урахуванням геометрії інструменту при косокутному заточенні, в [8] – запропоновано уточнений розрахунок товщини та форми стружки для косокутного точіння, який базується на аналітичному описі взаємного положення різальної кромки та заготовки. У роботі [9] проведено експериментальні дослідження та моделювання текстури поверхні, яка формується в результаті обробки при різних значеннях кута нахилу різальної кромки. При цьому слід мати на увазі, що збіжність розрахункових результатів із експериментальними значеннями залежить від діапазону кута нахилу різальної кромки: точність моделей знижується зі збільшенням цього кута, що обумовлює потребу у подальшому вдосконаленні відповідних розрахункових алгоритмів для забезпечення адекватного опису процесу різання в широкому діапазоні умов.

У [4] також розглянуто варіант використання інструменту з увігнутою різальною кромкою, що охоплює оброблюваний виріб на її ділянці величиною не менш ніж $S/(2\cos\lambda)$, де S – величина поздовжньої подачі; λ – кут нахилу різальної кромки інструменту, а радіус увігнутої різальної кромки визначається як

$$R_k = \frac{R}{\sin^2 \lambda \cdot \cos^2 \gamma \cdot \cos \alpha},$$

де R – радіусу поверхні виробу, що обробляється; α , γ – задній та передній кути інструменту відповідно.

Використання такого інструменту забезпечує значне зменшення шорсткості обробленої поверхні за рахунок охоплення оброблюваної поверхні різальною кромкою інструменту.

Випадок обробки із використанням інструменту з випуклою різальною кромкою, що працює за косокутною схемою, розглянуто в [10]. У цій роботі розглянуто модельний випадок обробки торцевим фрезеруванням, тому не враховано геометричні параметри оброблюваного виробу. Автори в [11; 12] використали той самий підхід для визначення перерізу зрізу для процесу точіння. У роботі [13] було розроблено 3D-модель різального інструменту із радіусною різальною кромкою для розрахунку площі стружки та довжини різальної кромки, використовуючи B-сплайнову інтерполяцію кривої різальної кромки, при цьому в роботі не враховувався кут повороту різальної кромки для косокутної схеми обробки. У роботі [14] була створена аналітична модель для круглих різальних пластин, яка враховувала кут повороту різальної кромки при косокутній схемі обробки, проте всі розрахунки були проведені для пластини, яка оберталась навколо своєї осі. У роботах [15; 16] представлені моделі та аналітичні рішення визначення довжини активної різальної кромки, перерізу стружки із врахуванням кута нахилу різальної кромки при косокутному різанні, переднього, заднього кутів інструменту та радіусу різальної кромки, розрахунки приведені для змінних круглих різальних пластин, проте в роботах не наведено порівняння розрахунків для інших форм різальної кромки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У наявній технічній літературі немає порівняльних даних щодо показників перерізу зрізу при використанні інструментів з прямолінійною, увігнутою та випуклою різальними кромками, що працюють за косокутною схемою.

Метою статті є визначення та порівняння параметрів перерізу зрізу у процесі косокутного різання різцями з прямолінійною, увігнутою та випуклою різальними кромками, а також впливу параметрів зрізу на шорсткість обробленої поверхні та умови проведення процесу різання.

Методика досліджень. Радіус оброблюваного валу $R = 40, 50, 100, 150$ та 200 мм. Подача $0,2; 0,5; 0,67$ та $2,5$ мм/об, глибина різання $0,1$ та $0,2$ мм.

Кут нахилу різальної кромки для досліджуваних інструментів $\lambda = 0$ та $(40-60)^\circ$.

При визначенні параметрів перерізу зрізу під час точіння інструментом із випуклою різальною кромкою розглядалися різці, оснащені круглою різальною пластиною діаметром $d = 9,0$ та $12,7$ мм.

При різних значеннях глибини різання, подачі й радіусу різальної кромки інструменту та оброблюваного вала визначалися форма та розміри перерізу зрізу, середня товщина зрізу, співвідношення довжини стружки до її середньої товщини.

Крім того, вивчався вплив кута нахилу різальної кромки різця на величину кінематико-геометричної складової шорсткості оброблюваної поверхні.

Параметри перерізу зрізу для різця з прямолінійною різальною кромкою та різців з увігнутою різальною кромкою, отримані за алгоритмом, наведеним у [4].

Виклад основного матеріалу. При обробці точінням параметри перерізу зрізу (товщина та ширина) визначаються зазвичай виразами $a = S \cdot \sin \varphi$ і $b = t / \sin \varphi$ відповідно, де φ – головний кут у плані. Однак, зважаючи на особливості кінематики та геометричні параметри різців, які працюють за косокутною схемою різання, розрахунок товщини та ширини зрізу для процесу обробки за даними залежностями здійснити неможливо.

Достовірну якісну та кількісну оцінку параметрів перерізу зрізу при точінні за косокутною схемою різання дає аналіз схем, наведених на рис. 1, на яких показана різальна кромка різця, впроваджена у виріб, що обробляється. Товщина зрізу за цих умов чисельно дорівнює глибині різання, як і у разі, коли чистова обробка ведеться широким різцем із зачисною кромкою, довжина якої перевищує величину подачі на один оберт.

Заштрихована область на рис. 1 – проєкція перерізу зрізу на основну площину інструменту, яка збігається з передньою поверхнею різця з кутом $\gamma = 0^\circ$, що проходить через різальну кромку та вісь X , де ділянка 1-2 – лінія перетину цієї площини та обробленої на попередньому витку поверхні, що є однопорожнинним гіперболоїдом обертання, а 2-3 – лінія перетину ще необробленої поверхні (циліндра) деталі з основною площиною інструменту. Форма перерізу зрізу, обмежена різальною кромкою і кривою 1-2-3. При цьому товщина зрізу в кожній з точок леза розуміється як відстань, виміряна між різальною кромкою, розташованою на поверхні різання, і лінією 1-2-3, виміряною за нормалі до різальної кромки інструменту.

З використанням розглянутої схеми, розрахуємо товщину зрізу в кожній точці конкретної різальної кромки. З цією метою поставимо нерухому, пов'язану з оброблюваною деталлю системою координат XYZ . Нехай система $X_S Y_S Z_S$ переміщається відносно нерухомої системи зі швидкістю і зміщена вздовж осі X на відстань S , що дорівнює поздовжній подачі інструменту на один оборот деталі. У системі $X_S Y_S Z_S$, розташуємо різальну кромку інструменту на відстані r від початку координат таким чином, щоб вона була паралельна площині $X_S O_S Z_S$, і кут її нахилу щодо осі X_S дорівнював λ , а передня поверхня інструменту при цьому знаходилася б у площині $X_\lambda O_\lambda Y_\lambda$. Щоб перейти до системи

координат, пов'язаної з інструментом, сумістимо вісь X_λ з різальною кромкою, а площина $X_\lambda O_\lambda Y_\lambda$ з його передньою поверхнею за умови, що $\gamma = 0^\circ$, що рівнозначно повороту системи $X_S Y_S Z_S$ навколо осі Y_S на кут λ (рис. 2).

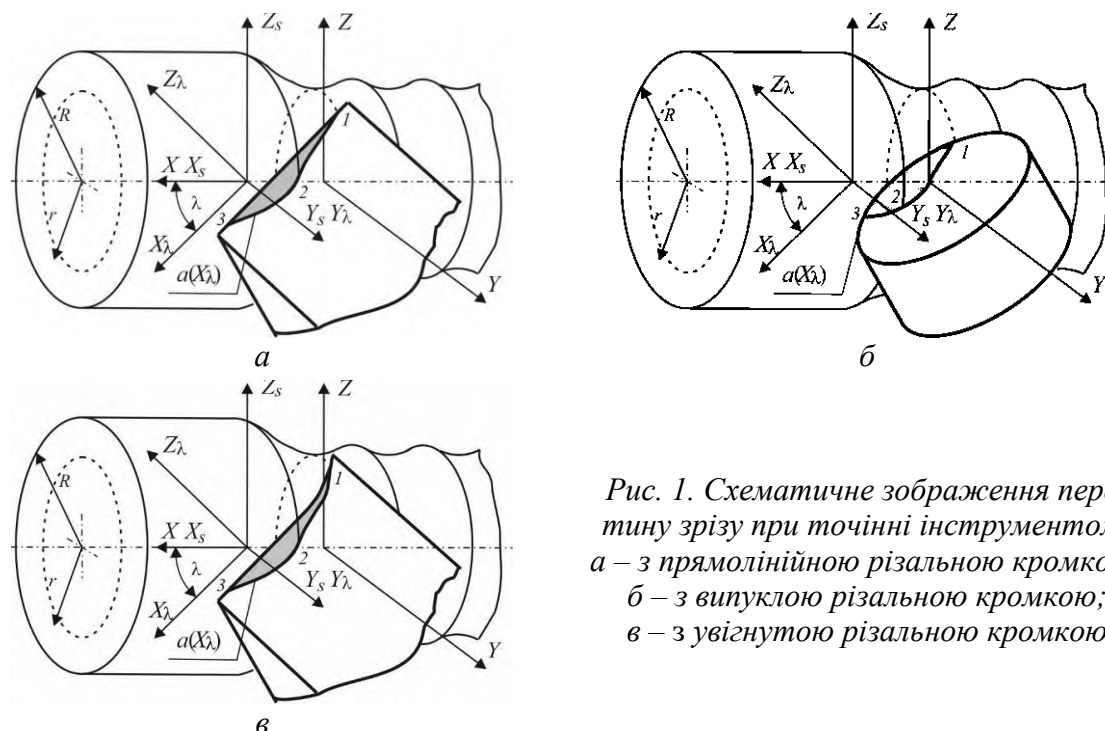


Рис. 1. Схематичне зображення перетину зрізу при точінні інструментом:
а – з прямолінійною різальною кромкою;
б – з випуклою різальною кромкою;
в – з увігнутою різальною кромкою

Враховуючи вищевикладене, запишемо матрицю переходу від $X_\lambda Y_\lambda Z_\lambda$ до $X_S Y_S Z_S$:

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\lambda) & 0 & \sin(\lambda) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\lambda) & 0 & \cos(\lambda) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_\lambda \\ Y_\lambda \\ Z_\lambda \end{pmatrix}.$$

Розкриваючи матрицю перетворення систем координат, а також враховуючи, що $X_S = X - S$, $Y_S = Y$, $Z_S = Z$, запишемо вирази, що визначають перехід від системи координат $X_\lambda Y_\lambda Z_\lambda$ до системи XYZ :

$$X = X_\lambda \cos(\lambda) + Z_\lambda \sin(\lambda) + S;$$

$$Y = Y_\lambda;$$

$$Z = -X_\lambda \sin(\lambda) + Z_\lambda \cos(\lambda).$$

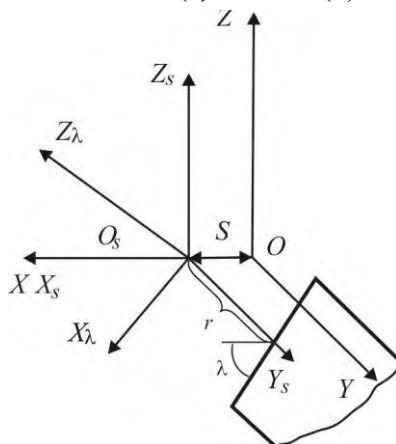


Рис. 2. Система координат, пов'язана з передньою поверхнею різця

Розрахунки для випадку інструменту з прямолінійною різальною кромкою наведено у [4]. Для випадку з інструментом із випуклою різальною кромкою розрахунки наведено нижче.

У системі XYZ рівняння, що визначає форму обробленої поверхні, утвореної обертанням утворюючої, що лежить у площині нахиленої до осі Z під кутом λ , отримаємо наступним чином:

$$\begin{cases} X_\lambda^2 + (Y_\lambda - (r + r_{pl}))^2 = r_{pl}^2 \\ Z = X \cdot tg\lambda \\ Y^2 + Z^2 = r_1(X)^2 \end{cases}$$

де r_{pl} – радіус при вершині різця; $r = R - t$, $r_1(x)$ – відстань від осі OX до точки, що лежить на різальній кромці (утворюючої); t – глибина різання.

Враховуючи, що: $X_\lambda = X / \cos\lambda$, в системі XYZ :

$$\begin{aligned} r_1(x)^2 &= y(x)^2 + z(x)^2 \\ r_1(X)^2 &= tg^2\lambda \cdot X^2 + \left[\mp \sqrt{r_{pl}^2 - \frac{X^2}{\cos^2\lambda}} + (r + r_{pl}) \right]^2. \end{aligned}$$

Звідки вираз для огинаючої поверхні (поверхні різання) отримаємо у вигляді:

$$Y^2 + Z^2 = tg^2\lambda \cdot X^2 + \left[\mp \sqrt{r_{pl}^2 - \frac{X^2}{\cos^2\lambda}} + (r + r_{pl}) \right]^2.$$

Здійснюючи перехід від системи XYZ до системи $X_\lambda Y_\lambda Z_\lambda$, пов'язаної з інструментом при $Z_\lambda = 0$, отримаємо переріз поверхні різання (огинаючої) площиною в якій знаходиться різальна кромка інструменту.

$$\begin{aligned} Y_\lambda^2 + (-\sin\lambda \cdot X_\lambda)^2 &= tg^2\lambda \cdot (X_\lambda \cdot \cos\lambda)^2 + \left[\mp \sqrt{r_{pl}^2 - X_\lambda^2} + (r + r_{pl}) \right]^2; \\ Y_\lambda(X_\lambda) &= \sqrt{tg^2\lambda \cdot (X_\lambda \cdot \cos\lambda)^2 + \left[\mp \sqrt{r_{pl}^2 - X_\lambda^2} + (r + r_{pl}) \right]^2} - (\sin\lambda \cdot X_\lambda)^2. \end{aligned}$$

Цей вираз визначає форму лінії, що обмежує переріз зрізу на ділянці 1–2. Крива 1-2-3 на ділянці 2-3 є частиною еліпса, отриманого в перерізі циліндра радіусом R , площиною, нахиленою під кутом λ до його осі. Очевидно, що в системі координат $X_\lambda Y_\lambda Z_\lambda$ форма цієї кривої описується виразом:

$$\begin{aligned} \frac{Y_\lambda^2}{R^2} + \frac{X_\lambda^2 \sin^2\lambda}{R^2} &= 1, \text{ звідки} \\ Y_\lambda(X_\lambda) &= \sqrt{R^2 - X_\lambda^2 \sin^2(\lambda)} \end{aligned}$$

де $R = (r + t)$.

Розрахунок за [4] та наведений вище розрахунок дозволяють визначити форму перерізу зрізу при різних значеннях глибини різання, подачі та діаметра оброблюваної поверхні. Як бачимо з рис. 3, *a*, менші значення кута нахилу різальної кромки при менших розмірах подачі, діаметра оброблюваної поверхні і більшій глибині різання, забезпечують більш витягнуту форму перерізу зрізу. На відміну від інструменту, що має кут у плані, лінія, що обмежує площу перерізу зрізу з боку вхідної та вихідної точок інструменту з

прямолінійною різальною кромкою, на значній ділянці останньої має пологий нахил, особливо за малих λ і S . Це значною мірою позначається на умовах контактування в зоні різання, адже на таких ділянках різання буде змінюватися пружно-пластичною деформацією матеріалу та його відтисненням під задню поверхню інструмента. Якщо для випадку різця з радіусом при вершині (рис. 3, б) не враховувати зміну його проекції на основну площину різця при варіюванні куту нахилу різальної кромки λ , безпосередньо сам цей кут не має значного впливу на форму та параметри перетину зрізу, а основним фактором в такому випадку є подача S . При збільшенні радіуса при вершині різця площа переріз зрізу значно зростає.

Слід відзначити, що величина мікронерівностей, яка розрахована, виходячи з кінематико-геометричних міркувань, для різця з випуклою різальною кромкою суттєво вище ніж для різця з прямолінійною різальною кромкою, що є негативним фактором (рис. 4, а). За рахунок зміни прямолінійної різальної кромки на увігнуту, при тій же величині подачі, можливо зменшити висоту мікронерівностей на обробленій поверхні більше ніж у десять разів (рис. 4, б).

У порівнянні з різцем з прямолінійною різальною кромкою форма перерізу зрізу при використанні різця з випуклою різальною кромкою найбільш наближена до умов обробки звичайним різцем. У такому випадку відношення довжини активної частини випуклої різальної кромки різця до середньої товщини зрізу суттєво (до трьох разів) нижчі у порівнянні з різцем з прямолінійною різальною кромкою (рис. 5). При використанні різця з увігнутою різальною кромкою активна частина увігнутої різальної кромки збільшується за рахунок наявності ділянки різальної кромки, що охоплює оброблюваний виріб, а середня товщина стружки зменшується, що суттєво збільшує величину їх відношення.

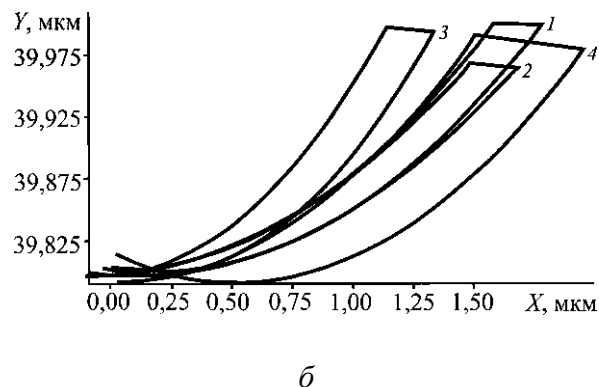
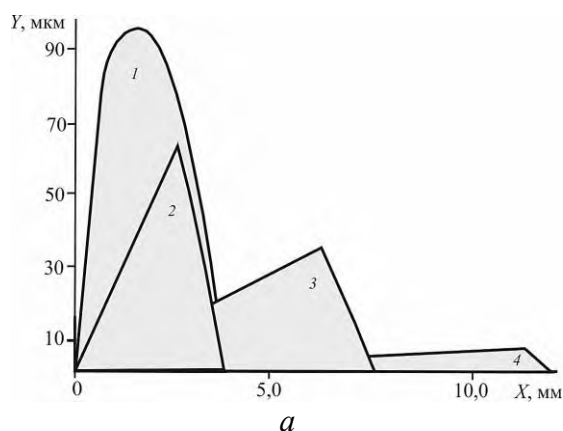


Рис. 3. Переріз зрізу під час обробки інструментом з прямолінійною різальною кромкою (1 – $S = 2,5$ мм/об; $R = 50$ мм; $t = 0,1$ мм; $\lambda = 60^\circ$; 2 – $S = 0,67$ мм/об; $R = 50$ мм; $t = 0,25$ мм; $\lambda = 60^\circ$; 3 – $S = 0,67$ мм/об; $R = 200$ мм; $t = 0,1$ мм; $\lambda = 60^\circ$; 4 – $S = 0,67$ мм/об; $R = 50$ мм; $t = 0,1$ мм; $\lambda = 15^\circ$) (а) та інструментом з випуклою різальною кромкою (1, 2 – $S = 0,2$ мм/об; 3, 4 – $S = 0,5$ мм; 1 – $\lambda = 0^\circ$, $d = 12,7$ мм; 2 – $\lambda = 50^\circ$, $d = 12,7$ мм; 3 – $\lambda = 50^\circ$, $d = 7$ мм; 4 – $\lambda = 50^\circ$, $d = 12,7$ мм) (б)

Співвідношення між величиною активної частини випуклої різальної кромки різця L і середньою товщиною зрізу $a_{\text{ср}}$ визначає ступінь рівномірності пластичної деформації за перерізом зрізу. Великі відношення $L/a_{\text{ср}}$ підвищують імовірність виникнення вібрацій у зоні різання. В усіх розглянутих випадках інструментів, що працюють за косокутною схемою різання, це співвідношення знижується при збільшенні кута нахилу різальної кромки, однак для інструментів з прямолінійною та увігнутою різальними кромками така зміна має значно інтенсивніший характер при $\lambda < 20^\circ$, а для різця з випуклою різальною кромкою – при $\lambda > 20^\circ$.

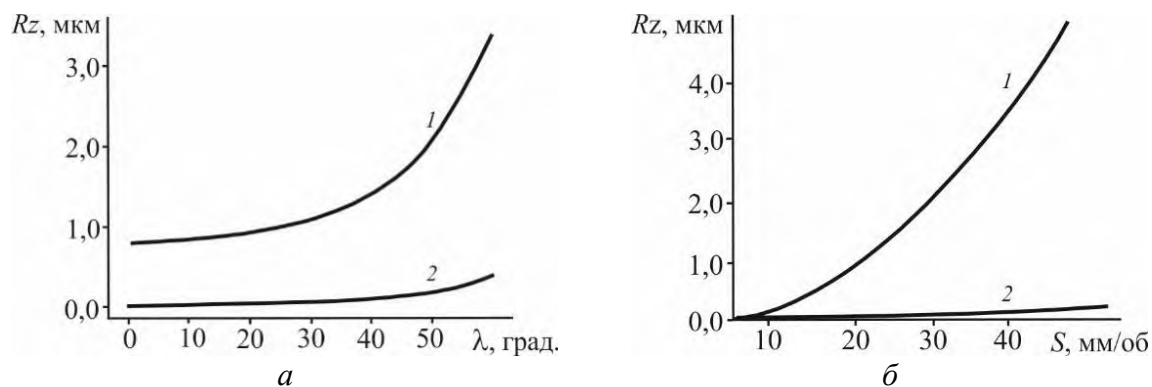


Рис. 4. Кінематико-геометрична складова шорсткості обробленої поверхні Rz ($S = 0,2$ мм/об, $t = 0,2$ мм, $R = 40$ мм) залежно від кута нахилу різальної кромки (1 – різець з випуклою різальною кромкою, 2 – різець з прямолінійною різальною кромкою) (а) та від подачі (1 – різець з прямолінійною різальною кромкою; 2 – різець з увігнутою різальною кромкою) (б)

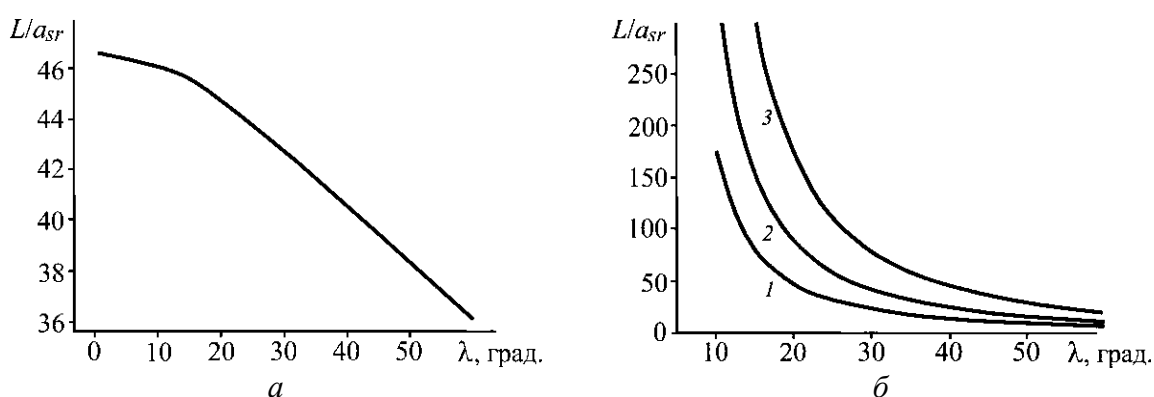


Рис. 5. Вплив кута нахилу різальної кромки різця на відношення L/a_{sr} : різець з випуклою різальною кромкою ($S = 0,5$ мм/об; $t = 0,2$ мм; $R = 40$ мм) (а), різець з прямолінійною різальною кромкою ($S = 1$ мм/об; $t = 0,15$ мм; 1 – $R = 50$ мм; 2 – $R = 100$ мм; 3 – $R = 150$ мм) (б)

Потрібно зазначити, що для випадку інструменту з прямолінійною різальною кромкою для менших значень радіуса оброблюваного виробу R , подачах S і глибинах різання t та за більших значень кута нахилу різальної кромки λ спостерігається стабілізація величини відношення довжини активної частини різальної кромки різця до середньої товщини зрізу L/a_{sr} . Останнє суттєво покращує умови роботи інструменту, зменшуючи амплітуду вимушених коливань різця, підвищуючи стабільність та вібростійкість процесу різання.

Характерні величини середньої товщини зрізу становлять 15–30, 10–20 та 20–50 мкм для інструменту із прямолінійною, увігнутою та випуклою різальною кромкою відповідно за інших однакових умов ($S = 0,2$ – $0,5$ мм/об, $t = 0,1$ – $0,2$ мм, $\lambda = 40$ – 50 °).

Висновки. Розглянуто форми та розміри перерізів зрізу, що мають місце у процесі фінішного точіння різцями з прямолінійною, увігнутою та випуклою різальними кромками, які працюють за схемою косокутного різання у діапазоні варіювання кута нахилу різальної кромки $\lambda = (0$ – $60)$ °.

Показано: відношення довжини активної частини випуклої різальної кромки різця до середньої товщини зрізу суттєво (до трьох разів) нижчі в порівнянні з таким відношенням для різця з прямолінійною різальною кромкою, а для випадку інструменту з увігнутою різальною кромкою воно більше, ніж у випадку різця з прямолінійною різальною кромкою; співвідношення довжини активної частини різальної кромки різця до середньої товщини

зрізу знижується при збільшенні кута нахилу різальної кромки, однак для інструментів з прямолінійної та увігнутою різальними кромками така зміна має значно інтенсивніший характер при $\lambda < 20^\circ$, а для різця з випуклою різальною кромкою – при $\lambda > 20^\circ$; величина мікронерівностей, яка розрахована, виходячи з кінематико-геометричних міркувань, для різця з випуклою різальною кромкою суттєво вище ніж для різця з прямолінійною різальною, а за рахунок зміни прямолінійної різальної кромки на увігнуту можливо зменшити висоту мікронерівностей на обробленої поверхні більше ніж у десять разів.

Список використаних джерел

1. Klymenko, S., & Kopeikina, M. (2020). Improvement of technologies for edge cutting machining with tools equipped with superhard structured composites. In *Modern manufacturing process and systems: Collective monograph* (Vol. 1: Fundamentals, Ch. 7, pp. 169–189). SaTCIP Publisher Ltd.
2. Клименко, С. А., Антонюк, В. С., & Саленко, О. Ф. (2025). *Надтверді матеріали інструментального призначення в автоматизованому виробництві*. Вид-во «Політехніка». <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72385>.
3. Клименко, С., & Копейкіна, М. (2021). Деякі напрямки вдосконалення процесу механічної обробки. У *Збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент* (с. 8–11). Державний університет «Житомирська політехніка». <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/8.pdf>.
4. Мазур, М., Внуков, Ю., Грабченко, А., Доброскок, В., & Залога, В. (2025). *Основи теорії різання матеріалів*. Новий світ-2000.
5. Köhler, J. (2014). Cutting edge geometry. У *CIRP encyclopedia of production engineering* (с. 294–299). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7_6398.
6. Klimenko, S. A., & Manokhin, A. S. (2009). Hard “skiving” turning. *Journal of Superhard Materials*, 31(1), 42–54. <https://doi.org/10.3103/s1063457609010079>.
7. Petrushin, S. I., & Filippov, A. V. (2013). Analysis of the geometry of oblique sharpening of single-edge tools. *Obrab. Met., Tekhnol., Oborud., Instrum.*, (2), 8–14.
8. Filippov, A. V. (2015). Cut-layer cross section in oblique turning by a single-edge tool with a curved front surface. *Russian Engineering Research*, 35(5), 381–384. <https://doi.org/10.3103/s1068798x15050123>.
9. Grzesik, Wit & Żak, Krzysztof. (2011). Investigations of surface textures produced by oblique machining of different workpiece materials. *Archives of Materials Science and Engineering*, 52, 46–53.
10. Filippov, A. V. (2013). Constructing a model of the equivalent wedge oblique cutting edge. *Applied Mechanics and Materials*, 379, 139–144. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.379.139>.
11. Харламов, Ю., Клименко, С., Будаг'янц, М., & Полонський, Л. (2007). *Обработка деталей при восстановлении та зміцненні*. ВУНУ ім. В. Даля.
12. Ричев, С., & Девін, Л. (2019). Параметри перерізу зрізу при косокутному тонкому точінні радіусним інструментом. *Інструментальне матеріалознавство*, 22, 488–495. <https://doi.org/10.33839/2223-3938-2019-22-1-488-495>.
13. Yussefian, N. Z., Moetakef-Imani, B., & El-Mounayri, H. (2008). The prediction of cutting force for boring process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(12-13), 1387–1394. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.05.003>.
14. Carlsson, T., Stjernstoft, T., & Lindström, B. (2001). A model for calculation of the geometrical shape of the cutting tool — work piece interface. *CIRP Annals*, 50(1), 41–44. [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)62066-6](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)62066-6).
15. Bushlya, V., Zhou, J., & Ståhl, J.-E. (2011). *On the analytical representation of chip area and tool geometry for the case of oblique turning with chamfered round tools. Part 1: Chip area parameters under both side and back rake angles variation*. Paper presented at Swedish Production Symposium 2011, Lund, Sweden.
16. Bushlya, V., Schultheiss, F., Gutnichenko, O., Zhou, J. M., & Ståhl, J. E. (2015). *On the analytical representation of chip area and tool geometry when oblique turning with round tools. Part 2: Variation of tool geometry along the edge line*. *Procedia CIRP*, 31, 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.082>.

References

1. Klymenko, S., Kopeikina, M. (2020). Improvement of technologies for edge cutting machining with tools equipped with superhard structured composites. *Modern manufacturing process and systems, 1: Fundamentals*, SaTCIP Publisher Ltd., Belgrade-Vrnjačka Banja (Serbia), 139–160.
2. Klymenko, S. A., Antonyuk, V. S., & Salenko, O. F. (2025). Nadtverdi materialy instrumental'nogo pryznachennya v avtomatyzovanomu vyrobnytstvi. [Superhard materials for tool applications in automated production]. *Vyd-vo "Politekhnik" – Publishing House "Politekhnik"*. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72385>.
3. Klymenko, S. A., & Kopyeykina, M. Yu. (2021). Deyaki napryamky udoskonalennya protsesu mekhanichnoyi obrobky.[Some areas for improving the machining process]. *Zbirnyk naukovykh prats XI Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu "Protsesy mekhanichnoi obrobky, verstaty ta instrument – Derzhavnyi universytet "Zhytomyrska politekhnik" – Proceedings of the XI All-Ukrainian Scientific and Technical Conference with International Participation "Machining Processes, Machine Tools and Tools* (pp. 8-11). *State University "Zhytomyr Polytechnic"* <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/08/8.pdf>.
4. Mazur, M. P., Vnukov, Yu. M., Hrabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., & Zaloga V. O. (2025). Osnovy teoriiy rizannya materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]. *Novyi svit-2000 – New World – 2000*.
5. Köhler, J. (2014). Cutting edge geometry. *Y CIRP encyclopedia of production engineering* (c. 294–299). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7_6398.
6. Klimenko, S. A., & Manokhin, A. S. (2009). Hard "skiving" turning. *Journal of Superhard Materials*, 31(1), 42–54. <https://doi.org/10.3103/s1063457609010079>.
7. Petrushin, S. I., & Filippov, A. V. (2013). Analysis of the geometry of oblique sharpening of single-edge tools. *Obrab. Met., Tekhnol., Oborud., Instrum.*, (2), 8-14.
8. Filippov, A. V. (2015). Cut-layer cross section in oblique turning by a single-edge tool with a curved front surface. *Russian Engineering Research*, 35(5), 381–384. <https://doi.org/10.3103/s1068798x15050123>.
9. Grzesik, Wit & Żak, Krzysztof. (2011). Investigations of surface textures produced by oblique machining of different workpiece materials. *Archives of Materials Science and Engineering*, 52, 46-53.
10. Filippov, A. V. (2013). Constructing a model of the equivalent wedge oblique cutting edge. *Applied Mechanics and Materials*, 379, 139–144. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.379.139>.
11. Kharlamov, Yu.O., Klymenko, S.A., Budag'yants M.O., & Polonsky L.G. (2007). Obrobka detaley pri vidnovlenni ta zmitsnenni [Processing of parts during restoration and strengthening]. *VUNU im. V. Dalia – Volodymyr Dahl Higher Educational Institution*.
12. Devin, L.M., & Richov, S.V. (2019). Parametry pererizu zrizu pry tonkomu kosokutnomu tochinni radiusnym instrumentom.[Parameters of the cross-section of a slice during thin grinding with a radius tool]. *Instrumentalne materialoznavstvo – Instrumental Materials Science*, 22, 488-495.
13. Yussefian, N. Z., Moetakef-Imani, B., & El-Mounayri, H. (2008). The prediction of cutting force for boring process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(12-13), 1387–1394. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.05.003>.
14. Carlsson, T., Stjernstoft, T., & Lindström, B. (2001). A model for calculation of the geometrical shape of the cutting tool — work piece interface. *CIRP Annals*, 50(1), 41–44. [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)62066-6](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)62066-6).
15. Bushlya, V., Zhou, J., & Ståhl, J.-E. (2011). *On the analytical representation of chip area and tool geometry for the case of oblique turning with chamfered round tools. Part 1: Chip area parameters under both side and back rake angles variation*. Paper presented at Swedish Production Symposium 2011, Lund, Sweden.
16. Bushlya, V., Schultheiss, F., Gutnichenko, O., Zhou, J. M., & Ståhl, J. E. (2015). *On the analytical representation of chip area and tool geometry when oblique turning with round tools. Part 2: Variation of tool geometry along the edge line*. *Procedia CIRP*, 31, 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.03.082>.

Отримано 18.06.2025

Andrii Manokhin¹, Sergii Klymenko², Serhii Klymenko³

¹PhD in Technical Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: the.manokhin@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>

ResearcherID: DGN-4506-2022. **SCOPUS Author ID:** 37059129600

²Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Deputy Director for Research
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: atmu@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>

ResearcherID: Q-8928-2019. **SCOPUS Author ID:** 57221904325

³PhD in Technical Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: alcon1202@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>

ResearcherID: FFQ-3675-2022. **SCOPUS Author ID:** 57197629303

PARAMETERS OF THE CROSS-SECTION OF THE CUT DURING FINISHING TURNING WITH CUTTERS OPERATING WITH AN OBLIQUE CUTTING PATTERN

This article presents a comprehensive study of the geometric parameters of chip cross-section during finishing turning using cutting tools with straight, concave, and convex cutting edges under oblique cutting conditions. A mathematical model is developed to calculate the chip cross-section shape, taking into account the intersection of the cutting edge with the previously machined surface (modeled as a single-sheet hyperboloid) and the unmachined cylindrical surface of the workpiece. The influence of cutting edge inclination angle ($\lambda = 0-60^\circ$), feed rate, cutting depth, and workpiece radius on the chip geometry is investigated.

Results show that the ratio of active cutting edge length to average chip thickness decreases with increasing λ . For straight and concave edges, this reduction is most significant at $\lambda < 20^\circ$, while for convex edges it is most pronounced at $\lambda > 20^\circ$. The convex edge generates the highest surface roughness, whereas replacing the straight edge with a concave one reduces surface micro-roughness more than tenfold. It is shown that increased values of the L/a_{sr} ratio, which characterizes the deformation distribution in the cutting zone, may lead to vibrations; however, their stabilization is achieved at specific combinations of tool geometry and cutting parameters.

The research outcomes are supported by analytical calculations and experimental validation. The findings are valuable for improving tool design and optimizing cutting conditions in high-precision machining. They contribute to enhancing surface quality, increasing process stability, and reducing tool wear in oblique cutting operations involving complex cutting tool geometries and challenging material removal conditions.

Keywords: Oblique cutting pattern; cross-sectional section; straight; concave; convex cutting edge; length of the active part of the cutting edge; chip thickness; machined surface roughness.

Fig. : 5. References : 16.