

Про вплив кута λ нахилу різальної кромки інструменту на його стійкість при косокутному різанні металів

На підставі аналізу опублікованих робіт авторів, що досліджували вплив кута λ нахилу різальної кромки інструмента на його стійкість, показано причини суперечливості результатів, які виділяють дослідники у цій області. Стверджується, що прийнятий спосіб дослідження залежності стійкості інструмента від кута нахилу головної різальної кромки не відбиває вплив власне кута нахилу різальної кромки. Запропонований спосіб, при якому виключається зміна первісно виконаних заточенням кутів γ_N на γ_V і α_V на α_N різального леза при переході від одного значення кута λ до іншого його значення, тобто забезпечується $\gamma_V = \gamma_N$ і $\alpha_V = \alpha_N$ перезаточенням, згідно з запропонованими авторами співвідношеннями.

Ключові слова: кут нахилу; різальна кромка; період стійкості; передній кут; задній кут.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Останнім часом широко використовуються інструменти косокутного різання, особливо для процесів чистового різання. При цьому виникає ряд питань теоретичного дослідження процесів різання та встановлення оптимальних значень геометричних параметрів різального інструмента. Існують різні точки зору на встановлення оптимальних значень передніх і задніх кутів різальних інструментів, які забезпечують найбільшу стійкість різального інструмента. Особливо важливим є необхідність глибокого аналізу процесів косокутного різання для сучасних високопродуктивних процесів обробки деталей.

Аналіз останніх досліджень. Велика кількість робіт [1–5] присвячена впливу на стійкість інструменту кута λ нахилу його різальної кромки при вільному косокутному різанні металів.

Представлені в них результати досліджень суперечливі, а у деяких випадках, як зазначає автор роботи [1], протилежні. Подібна оцінка результатів досліджень даного питання дана автором [2] з огляду на велику кількість опублікованих робіт.

Наведені в роботі [1] результати дослідження впливу кута λ нахилу різальної кромки інструменту на його стійкість, отримані при точінні й фрезеруванні спеціально виготовленим для цих цілей інструментом зі швидкорізальної сталі марки Р18. Точіння здійснювалося торцевим підрізанням труби зі сталі марки 45 з товщиною стінки $B = 2$ мм. Поворотний навколо своєї осі різець мав такі геометричні параметри заточення: $\gamma_N = 20^\circ$; $\alpha_N = 10^\circ$, кут у плані $\varphi = 90^\circ$. Сталість заднього кута $\alpha_N = 10^\circ$ у напрямку вектора швидкості різання досягалася при повороті різця на новий кут λ переточуванням його так, що він змінювався, згідно зі співвідношенням:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \frac{\operatorname{tg} \alpha_V}{\cos \lambda}, \quad (1)$$

де α_V – задній кут у площині, що проходить через вектор швидкості різання.

Передній кут $\gamma_N = 20^\circ$ при цьому залишався незмінним. Різання здійснювалося при $V = 45$ м/хв і подачі $S = 0,14$ мм/об. За критерій зношування приймалось зношування інструменту по задній поверхні $h_3 = 0,8$ мм.

Результати дослідів у роботі [1] наведено у вигляді графіка $T = f(\lambda)$, де T – стійкість інструменту у хвилинах. У статті нижче вони розміщені у таблиці 1, у якій наведено розраховані за даними авторів (2), (3) дані кінематичних кутів γ_V і α_V інструменту, що залежать від кута λ .

$$\gamma_V = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg} \gamma_N}{\cos \lambda} \right); \quad (2)$$

$$\alpha_N = \operatorname{arctg} (\operatorname{tg} \alpha_N \cos \lambda). \quad (3)$$

Таблиця 1

Залежність періоду стійкості різця від кута λ нахилу різальної кромки й розрахункові значення відповідних його кінематичних кутів γ_V і α_V при торцевому точінні труби зі сталі марки 45 різцем зі швидкорізальної сталі марки P18

λ , град.	0	15	30	45	60
T , хв	35	33	29	20	10
α_V , град.	10	9,66	8,68	7,1	5,04
γ_V , град.	20	20,65	22,8	27,2	36,1

У роботі [1] представлено результати дослідів з вільного косокутного різання й фрезерування однозубою фрезою діаметром 110 мм. Різальний елемент – гвинтовий зуб зі сталі P18, мав передній та задній кути $\gamma_N = 15^\circ$; $\alpha_N = 10^\circ$ після закріплення його у корпусі фрези й заточення. Сталість кінематичного заднього кута α_N при будь-якому значенні кута λ досягалася переточуванням, також як і у випадку, зазначеному вище, торцевим підрізанням труби. Передній кут різального елемента не змінювався.

Фрезерування зазнав зразок шириною $B = 35$ мм зі сталі марки 40 зі швидкістю різання $V = 26$ м/хв і подачі на зуб $S_Z = 0,2$ мм. Критерій затуплення різального елемента – зношування по задній поверхні $h_3 = 0,5$ мм. Отримано такі результати:

Таблиця 2

λ , град.	T , хв. при $\alpha_N = const$	T , хв. при $\alpha_V = f(\lambda)$
0	240	240
15	218	218
30	135	120
45	78	40

На підставі результатів дослідів, наведених вище, автор змушений був зробити висновок про те, що збільшення кута λ нахилу різальної кромки інструменту як при точінні, так і при фрезеруванні супроводжується зменшенням періоду його стійкості. Однак визначено, що при задньому куті $\alpha_N = const$ інтенсивність зношування інструменту помітно знижується, порівняно з тим, коли різальний елемент не зазнав переточування – $\alpha_V = f(\lambda)$.

Оскільки дослідом встановлено, що збільшення кута λ супроводжується зниженням середньої температури контакту, а при цьому зношування інструменту збільшується, автор робить висновок про те, що при вільному косокутному різанні металів стійкість інструменту не пов'язана з температурою різання. Але про причини цього незвичайного явища нічого не сказано навіть у можливому змісті.

У роботі, на жаль, відсутні відомості про зміну характеру стружкоутворення при збільшенні кута λ нахилу різальної кромки (чи відбувалося стружкоутворення з утворенням наросту при будь-якому значенні кута λ нахилу різальної кромки, чи змінювалася при цьому прирізцева поверхня стружки).

У якості критерію затуплення різального елемента приймалося зношування його по задній поверхні. Разом з тим, мало місце зношування й по передній поверхні у вигляді утворення лунки, що наближається до різальної кромки через збільшення кута λ . При цьому не повідомляється про наростоутворення безпосередньо біля різальної кромки. Воно, як відомо, руйнується, сходить по задній поверхні та інтенсифікує її зношування.

Отже, результати дослідів, наведені в роботі [1], не дають підстав вважати, що вони достатньо відбивають поняття «вплив власне кута λ нахилу різальної кромки інструменту на його стійкість при вільному косокутному різанні металів», тому що на ряд факторів, що впливають на його стійкість, не зверталася увага.

У роботі [2] наведені результати дослідження залежності $T = f(\lambda)$ при вільному косокутному різанні (чистовому точінні з великими подачами), нержавіючої сталі марки OX18H10T різцями,

оснащеними твердим сплавом марки ВК6. При цьому характер залежності $T = f(\lambda)$ отриманий, в основному, аналогічний представлений у роботі [1].

Метою даної роботи є оцінка результатів виконаних досліджень та вимог до проведення дослідження впливу власне кута λ нахилу різальної кромки на стійкість інструменту та розробка практичних рекомендацій для більш ефективного дослідження особливостей інструментів з різальними кромками з $\lambda \neq 0^\circ$, на підставі аналізу результату досліджень, представлених у роботах [1] і [2]

Викладення основного матеріалу. Представлені у роботах [1–2] дослідження дозволяють зрозуміти й пояснити незвичайність цих залежностей. Тобто, коли всупереч очікуваному збільшенню стійкості інструменту при збільшенні кута λ нахилу його різальної кромки, стійкість різця зменшується. І це відбувається, коли при цьому знижується робота стружкоутворення, зменшується температура різання. Точіння здійснювалося різцями з геометрією заточення: $\gamma_N = 10^\circ$ і $\alpha_N = 10^\circ$. Кінематичні значення їх, не прийняті автором до уваги, розраховано нами за співвідношеннями (2, 3) та наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

λ , град.	2,5	10	20	30	40	45
γ_V , град.	10,01	10,15	10,63	11,5	12,96	14,0
α_V , град.	9,99	9,85	9,41	8,68	7,69	7,11

Вони зображені графічно на спільному рисунку 1 із графіком (а), який представляє залежність стійкості різців, заточених з $\gamma_N = 10^\circ$ та $\alpha_N = 10^\circ$ від кута λ , значення якого змінювалося у зазначених межах. На рисунку 1, б: 1 – $\gamma_V = f(\lambda)$, 2 – $\alpha_V = f(\lambda)$.

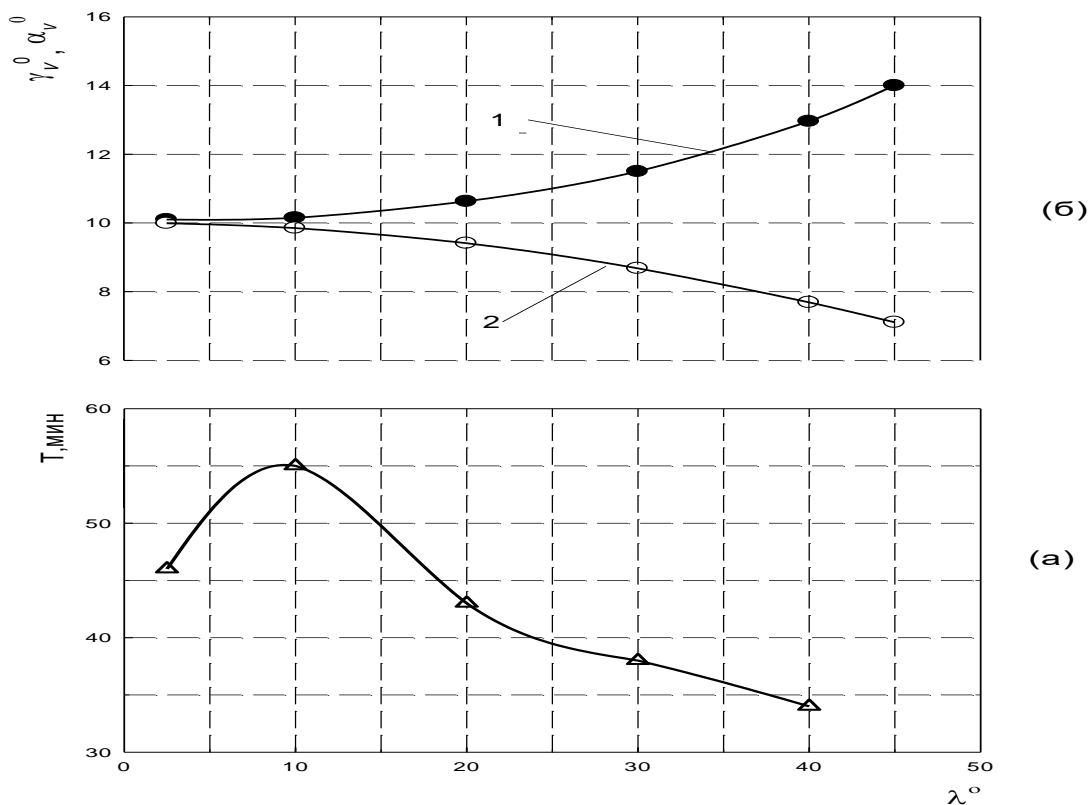


Рис. 1. Залежність стійкості інструменту та значень передніх і задніх кутів від кута нахилу різальної кромки:

а) залежність стійкості інструменту, оснащеного твердим сплавом ВК6 від зміни кута нахилу різальної кромки при точінні сталі ОХ18Н10Т на швидкості різання $V = 100$ м/хв із подачею $S = 4$ мм/об та глибиною різання $t = 0,05$ мм (передній кут $\gamma_N = 10^\circ$, задній кут $\alpha_N = 10^\circ$) [2]; б) графіки залежності кінематичних переднього γ_N і заднього α_N кутів від зміни кута λ нахилу різальної кромки

Результати розрахунків показали, що передній кут γ_V різця збільшується, а задній кут різця α_V зменшується особливо суттєво під час збільшення кута $\lambda > 20^\circ$. Отже, у процесі роботи різання контакт задньої поверхні різця з поверхнею різання збільшується, підвищуючи інтенсивність її зношування, а збільшення переднього кута γ_V сприяє зменшенню роботи зрізання шару, що веде до зменшення сили й температури різання, усадки K стружки й площі контакту її з передньою поверхнею інструменту.

Результати дослідження залежності $T = f(\lambda)$, зображені графіком на рисунку 1 а, показують, що зі збільшенням нахилу різальної кромки різця від $\lambda = 2,5^\circ$ до $\lambda = 10^\circ$ стійкість T різця підвищилася з 46 до 55 хвилин, що цілком логічно через незначне зменшення заднього кута α_V різця й, імовірно, у зв'язку зі зменшенням роботи різання, при збільшенні його переднього кута γ_V . Однак при подальшому збільшенні кута λ нахилу різальної кромки різця, стійкість його поступово зменшується до $T = 34$ хв при $\lambda = 45^\circ$. І це відбувається замість очікуваного підвищення її, пов'язаного із зазначеними вище факторами, зумовленими збільшенням переднього кута γ_V різця через збільшення кута λ нахилу його різальної кромки.

Це парадоксальне явище відбувається, мабуть, не лише через зменшення заднього кута α_V різця, тому що досліди, проведені автором роботи [1], про що сказано вище, показали, що приведення величини заднього кута α_V згідно зі співвідношенням (1) до величини $\alpha_V = \alpha_N$ ($\alpha_N = 10^\circ$ при першому заточенні) забезпечує лише невелике збільшення стійкості різця, порівняно з тим, коли $\alpha_V = f(\lambda)$.

Виключивши можливий вплив факторів жорсткості технологічної системи на період стійкості інструменту при косокутному вільному різанні, можна, мабуть, вважати, що він залежить лише від характеру контактної взаємодії стружки з передньою поверхнею інструменту та задньої з поверхнею різання.

При звичайному різанні металів характер зазначеного взаємозв'язку, що змінюється зі зміною швидкості різання, досить добре вивчений ([4] тощо). При косокутному вільному різанні дослідження кута λ нахилу різальної кромки інструменту на його стійкість здійснюється при одному значенні швидкості різання.

У цьому процесі різання характеристики стружкоутворення й, відповідно, характер контактної взаємодії матеріалу інструменту із оброблюваним металом залежать від зміни, головним чином, значень кінематичного, насамперед, переднього кута γ_V при зміні кута λ нахилу різальної кромки інструменту. Зі зміною кута λ від меншого до більшого значення збільшується значення кута γ_V . Внаслідок цієї зміни змінюються характеристики стружкоутворення подібно тому, як вони змінюються зі зміною швидкості різання при звичайному дослідженні залежності $T = f(\lambda)$. Тому у формуванні характеру залежності $T = f(\lambda)$ бере участь не так власне кут λ , як насамперед геометрія, що змінює різальний клин інструменту. Крім того, від цього графіка залежить і від обраного (прийнятого) значення швидкості різання V , при якій здійснюється дослідження залежності $T = f(\lambda)$.

У роботі [2] швидкість різання V прийнята автором на підставі дослідження залежності $T = f(V)$ при точінні різцем з одним значенням кута $\lambda = 15^\circ$ нахилу різальної кромки.

Графічно характер цієї залежності, наведений у логарифмічних координатах, має вигляд ламаної лінії. Чисельні значення цієї залежності такі:

Таблиця 4

V , м/хв	3	25	45	100	120	170	180	200
T , хв	120	22	35	50	24	8	5	4

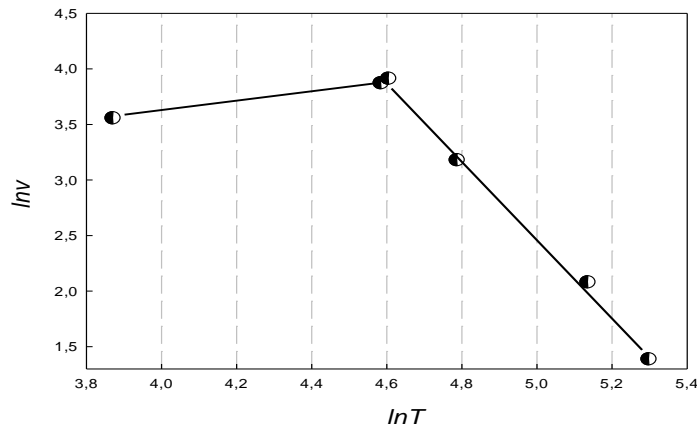


Рис. 2. Залежність стійкості T різця, оснащеного твердим сплавом ВК6 від зміни швидкості різання при точінні сталі ОХ18Н10Т ($\gamma_N = 10^\circ$, $\alpha_N = 10^\circ$, $\lambda = 15^\circ$ при $S = 4$ мм/об; $t = 0,05$ мм [2])

Вони свідчать про те, що при точінні зі швидкостями різання від 3 м/хв до 25 м/хв різання здійснювалося при нарості на передній поверхні інструменту, захищаючи його від зношування, та з поступовим виродженням (руйнуванням) його із супутнім наростанням інтенсивності зношування інструменту зі збільшенням швидкості різання до 25 м/хв. При подальшому збільшенні швидкості різання до 100 м/хв, а отже й підвищенні температури на контактних площадках інструменту з оброблюваним металом, вплив адгезійного виду зношування поступово зменшується, переходячи до іншого відомого виду зношування. Відбиттям останнього на графіку в логарифмічних координатах при різанні з $V > 100$ м/хв є пряма лінія.

З викладеного вище випливає, що вид правої «спадної» графіка залежності $T = f(V)$ на рисунку 1 а зумовлений тим, що збільшення кута λ нахилу різальної кромки інструменту супроводжує й збільшення переднього кута γ_V , а отже й зменшення контактних температур, що веде до виду зношування, що відповідає лівій спадної графіка залежності $T = f(V)$ на рисунку 2.

Тому можна припустити, що, якби дослідження цієї залежності проводилося при швидкості, наприклад, 120 або 170 м/хв, то графік її представляв «висхідну» лінію, тобто мав би зовсім протилежний вид, або, за висловом В.Ф. Боброва, «протилежний результат».

Варто зазначити, що досліджені залежності $T = f(V)$ зазначеним вище способом не відбивають вплив на стійкість інструменту при косокутному вільному різанні власне кута λ . Щоб виявити вплив на стійкість інструменту власне кута λ , мабуть, варто виключити вплив наявних величин (значень) робочих переднього й заднього кутів (γ_V, α_V) при переході від одного значення до іншого кута λ . Тобто потрібно переточуванням зберегти сталість кутів γ_V та α_V , які дорівнюють спочатку заточеним γ_N та α_N . При переході на новий кут λ вони мають змінюватися переточуванням, згідно зі співвідношеннями:

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma_V \cos \lambda; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \frac{\operatorname{tg} \alpha_V}{\cos \lambda}. \quad (5)$$

У випадку чистового точіння нержавіючої сталі ОХ18Н10Т значення γ_N, α_N , розраховано за співвідношеннями (4) і (5) наступні: (табл. 5).

λ , град.	2,5	10	20	30	40	45
γ_N , град.	9,99	9,85	9,41	8,68	7,69	7,11
α_N , град.	10,01	10,14	10,63	11,5	12,96	14,0

За цими значеннями кутів γ_N та α_N розраховано робочі кути γ_V та α_V , відповідно до (2) і (3), вони будуть дорівнювати 10° . Тим самим, при переході від одного значення кута λ до іншого зберігаються незмінними робочі передній і задній кути інструменту, задані первісним заточенням. Наприклад, відносно дослідження кута λ на стійкість інструменту при точінні стали ОХ18Н10Т [2]: $\gamma_{NP} = 10^\circ$ та $\alpha_{NP} = 10^\circ$. Лише у цьому випадку виявляється вплив кута λ на стійкість інструменту. При цьому вибір швидкості різання при дослідженні залежності $T = f(\lambda)$ не буде мати істотного значення.

Висновки:

1. Суперечливість результатів, що зазначається всіма авторами дослідження кута λ нахилу різальної кромки на стійкість інструменту при косокутному різанні металів, є наслідком довільно прийнятої швидкості різання, при якій досліджується залежність $T = f(\lambda)$.

2. Прийнятий спосіб дослідження залежності $T = f(\lambda)$ не відбиває повною мірою вплив на стійкість інструменту власне кута λ нахилу його різальної кромки.

3. Дійсний вплив кута λ нахилу його різальної кромки на стійкість інструменту може бути виявлений переточуванням інструменту з кутами γ_V та α_V на різці при переході від одного значення кута λ до іншого до спочатку прийнятих γ_N та α_N .

Список використаної літератури:

1. Бобров В.Ф. Влияние угла наклона главной режущей кромки инструмента на процесс резания металлов / В.Ф. Бобров. – М. : Машгиз, 1962. – 160 с.
2. Халфен Р.В. Качество обработанной поверхности и стойкость резцов при чистовом точении с большими подачами : сб-к науч. тр. / Р.В. Халфен. – К. : ИСМ. 1978. – С. 177–187.
3. Выговский Г.Н. Особенности косоугольного безвершинного резания / Г.Н. Выговский, П.П. Мельничук // Весн. Житомир. Инж.-техн. Ин.-та. – № 10. – С. 134–141.
4. Виноградов А.А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых металлов твердосплавными сверлами / А.А. Виноградов. – К. : Наук. Думка, 1985. – 263 с.
5. Виноградов А.А. О механизме стружкообразования при косоугольном резании металлов / А.А. Виноградов // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 6. – С. 90–99.
6. Виноградов А.А. О направлении схода стружки при косоугольном свободном резании пластичных металлов / А.А. Виноградов // Сверхтвердые материалы. – 2015. – № 2. – 77–87 с.

References:

1. Bobrov, V.F. (1962), *Vlijanie ugla naklona glavnoj rezhushej kromki instrumenta na process rezanija metallov*, Mashgiz, Moskva, 160 p.
2. Halfen, R.V. (1978), *Kachestvo obrabotannoj poverhnosti i stojkost' rezcov pri chistovom tochenii s bol'shimi podachami*, sb-k nauch. tr., ISM, Kiev, pp. 177–187.
3. Vygovskij, G.N. and Mel'nychuk, P.P., «Osobennosti kosougol'nogo bezvershinnogo rezanija», *Vesn. Zhitomirs. Inzh.-tehn. In.-ta*, No. 10, pp. 134–141.
4. Vinogradov, A.A. (1985), *Fizicheskie osnovy processa sverlenija trudnoobrabatyvaemyh metallov tverdosplavnymi sverlami*, Nauk. Dumka, Kiev, 263 p.
5. Vinogradov, A.A. (2014), «O mehanizme struzhkoobrazovanija pri kosougol'nom rezanii metallov», *Sverhtverdye materialy*, No. 6, pp. 90–99.
6. Vinogradov, A.A. (2015), «O napravlenii shoda struzhki pri kosougol'nom svobodnom rezanii plastichnyh metallov», *Sverhtverdye materialy*, No. 2, p. 77–87.

Виноградов Олександр Олександрович – доктор технічних наук, професор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка важкооброблюваних матеріалів;
- надтверді матеріали.

Виговський Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2018.