

Г.М. Виговський, к.т.н., проф.  
О.А. Громовий, к.т.н., доц.  
В.А. Кирилович, д.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОЇ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ГЛИБИННОМУ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ІНСТРУМЕНТАМИ, ОСНАЩЕНИМИ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИМИ НАДТВЕРДИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Проведений аналіз торцевих фрез глибокого різання та геометричних параметрів їх різальних частин дозволив визначити переваги та недоліки існуючих конструкцій інструменту. Теоретично досліджений вплив геометричних параметрів різальних частин ножів торцевих фрез та режимів різання на якість обробки. Для покращення якості обробленої поверхні запропоновано використовувати ножі з безвершинною радіусною різальною кромкою. Рекомендовано раціональні режими різання для забезпечення необхідної якості обробки при фрезеруванні сірого чавуну та загартованої сталі. Розрахунки силових факторів для торцевих фрез глибокого різання та одноступінчатих торцевих фрез показали, що сумарна колова складова сили різання для багаступінчастої фрези менша, ніж при використанні одноступінчастої торцевої фрези в середньому в 1,2 рази. Узагальнено стійкісні параметри різальних частин при фрезеруванні сірого чавуну та загартованої сталі. Визначено раціональні значення кутів нахилу різальних кромок для умов врізання фрези у заготовку. Реалізований алгоритм розрахунку оптимальної кількості ступіней для заданих параметрів торцевих фрез глибокого різання за допомогою пакета MathCAD. Запропоновано використовувати конічні різальні ножі на чистових ступінях торцевих фрез глибокого різання і конструкція вузла для їх кріплення.

**Ключові слова:** торцеве фрезерування; ступінчасті схеми різання; якість обробки; стійкість інструменту; геометричні параметри.

**Постановка та актуальність проблеми.** Плоскі поверхні корпусів механізмів, приладів, опор, рам, станів, що виготовлені з чавунів і загартованих сталей, складають до 20 % масиву продукції машинобудування і металообробки.

Найбільш прогресивним методом для обробки плоских поверхонь деталей машин є лезова обробка, а саме – торцеве фрезерування, яке забезпечує високу продуктивність і оптимальні показники якості обробки.

У працях вітчизняних і закордонних авторів велика увага приділяється проектуванню більш досконалих конструкцій фрез з комбінованими схемами різання, а також з комбінованими схемами обробки (фрезерування–вигладжування та ін.). Перспективним напрямком розвитку конструкцій різального інструменту вважається агрегатно-модульний підхід до створення компонок інструменту.

Для чорнової, напівчистої, чистої обробки деталей із чавунів і загартованих сталей використовують торцеві фрези, що оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами (ПНТМ), серед яких: композити 01, 05, 10, 10Д, 12, киборит та ін.

Обмежені розміри полікристалів ПНТМ не дають можливість їх використання для чорнової обробки при використанні одноступінчастих фрез. За рахунок збільшення глибини різання до максимальних значень реалізована можливість при ступінчастому розташуванні різальних ножів використовувати торцеві фрези для чорнової обробки.

Чорнова обробка призводить до значних вібрацій і нерівномірних знакозмінних навантажень, що, в свою чергу, що викликає швидкий знос верстата і втрату точності обробки.

Різання з глибиною до 10 мм і більше характеризується великими значеннями складових сили різання, високими температурами в зоні обробки та іншими негативними факторами, що висуває високі вимоги до конструкцій різального інструменту.

**Мета роботи.** Полягає в забезпеченні якісної обробки плоских поверхонь деталей при глибокому різанні за рахунок використання раціональних режимів різання; забезпечення стійкості нових конструкцій торцевих фрез, в яких застосовані ступінчасті схеми різання та безвершинна геометрія різальних ножів, оснащених ПНТМ.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота пов'язана з виконанням НДР Житомирського державного технологічного університету "Синтез способів формування плоских поверхонь лезових фрез і приладів, конструювання спеціальних процесів та урівноваження складових сил різання" РК № 0115U002547.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Питанням забезпечення якісної та продуктивної обробки плоских поверхонь деталей машин торцевим фрезеруванням питанням присвячено велику кількість робіт вітчизняних і закордонних вчених [1–55].

Існуючі рішення в цьому напрямку мають частковий характер, відсутні основи створення ефективного модульного інструменту для фрезерних верстатів, не вирішено проблеми його працездатності, надійності, конструктивних елементів.

З огляду на наведене вище, суттєвим резервом підвищення продуктивності обробки є можливість створення нових конструкцій торцевих фрез, які б дозволили поєднати декілька операцій обробки (чорнову, напівчистову і чистову) за один прохід. В умовах високої вартості верстатогодин на сучасних верстатах це має велике значення на сучасному етапі розвитку інструментального виробництва та машинобудування.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Авторами розглянуто фізико-механічні властивості ПНТМ, їх переваги, порівняно з іншими інструментальними матеріалами. Наведено різальні властивості ПНТМ в умовах переривчастого різання. Встановлено, що найбільшою стійкістю за таких умов характеризується інструмент, оснащений ножами із гексаніту-Р. Гексаніт-Р відрізняється від інших ПНТМ не лише фазовим складом, але й високою однорідністю та дисперсністю (розмір зерен, усереднений за обсягом, становить 0,1–0,5 мкм); крім того, більша частина зерен в гексаніті-Р двофазні (вюрцит-сфалерит). Співвідношення цих фаз значно впливає на різальні властивості: фазовий склад нітриду бору впливає на стійкість інструменту при роботі на удар.

Наведено основні форми та геометричні параметри різальних пластин з композитів провідних вітчизняних і закордонних виробників. Вибір марки ПНТМ, форми та розмірів різальних пластин виконують із врахуванням: властивостей оброблюваного матеріалу; виду обробки (чистова, напівчистова, чорнова); схеми різання (послідовна або ступінчаста); способу кріплення пластин в корпусі фрези; технологічних особливостей оброблюваної (закритої або відкритої) поверхні (існування пазів, отворів).

Проведений аналіз існуючих конструкцій торцевих фрез з ПНТМ глибинного різання. Розглянуті торцеві фрези: 1) нерегульовані, в яких торцеве та радіальне биття визначаються точністю виготовлення різальних пластин і опорних баз; 2) регульовані, що дозволяють виконувати точне регулювання торцевого та радіального биття.

Проаналізовано основні прогресивні схеми зрізання припуску, з яких найбільше в конструкціях торцевих фрез з ПНТМ використовуються схеми різання за принципами розподілу припуску за подачею та глибиною. Недоліком схеми різання за принципом розподілу припуску за подачею (за рахунок похибок базування та закріплення фрез на верстатах, осьового та радіального биття шпинделів верстатів, похибок заточки та установки ножів) є участь в різанні невеликої кількості ножів та формування поверхні найбільш виступаючим ножом, що знижує стійкість фрез та продуктивність обробки. Усунути ці недоліки можливо за рахунок використання схеми зрізання припуску за глибиною, що при тих же биттях різальних кромок призводить до зростання кількості ножів, що беруть участь в різанні.

Тому для подальшого дослідження за базовий був обраний інструмент з регулюванням різальних ножів в процесі обробки, серед напрямків удосконалення якого можна виділити:

- застосування прогресивних схем зрізання припуску за глибиною;
- спіральнo-ступінчасте розташування різальних ножів;
- використання різальних ножів з гексаніту-Р для обробки чавунів та загартованих сталей.

Серед основних факторів, які впливають на якість обробки площин, є:

- верстат: жорсткість; потужність; вібростійкість; геометрична точність вузла кріплення фрези; статистична деформація шпинделя та стола верстата; кінематична точність шпиндельного вузла; динамічні характеристики (биття підшипникового вузла шпинделя, динамічна деформація шпинделя та стола верстата);

- інструмент: конструкція (кількість різальних ножів, схема розташування різальних ножів); інструментальний матеріал; геометрія різальних ножів; статичні та динамічні похибки радіального та осьового розміщення різальних ножів; похибки установки та закріплення фрези на шпинделі верстата; динамічні відхилення положення фрези щодо заготовки під дією сил різання;

- заготовка: матеріал заготовки; якість поверхні заготовки; похибки встановлення і закріплення заготовки; нерівномірність припуску заготовки;

- режими різання, силові та теплові фактори.

Вплив геометрії різальних ножів на шорсткість обробки є найсуттєвішим фактором. Це дозволяє створити формуючому ножу ступінчастої торцевої фрези раціональну геометрію за умови забезпечення необхідної шорсткості обробленої поверхні. Аналіз кривих зміни шорсткості поверхні від геометричних параметрів різальних ножів при обробці чавуну та загартованої сталі дозволив виділити найбільш впливові з них – головний кут у плані та ширина перехідного різального леза, що паралельне обробленій поверхні, а також точність положення перехідної різальної кромки. Встановлено, що при

збільшенні заднього кута від 5 до 20° параметр  $R_a$  збільшується від 0,5 до 0,9 мкм при фрезеруванні чавуну та від 0,4 до 0,6 мкм при обробці загартованої сталі.

На основі теоретичних досліджень було узагальнено геометричні параметри різальних ножів, що забезпечують якість обробки:  $\varphi = 15\text{--}30^\circ$ ;  $\alpha = 5\text{--}12^\circ$ ;  $b_f = 0,4\text{--}0,6$  мм;  $\Delta\varphi = \pm 0,5^\circ$ . Передній кут призначається з умови отримання необхідної стійкості інструмента:  $\gamma = -(0\text{--}10)^\circ$ .

Було визначено, що при використанні різального ножа циліндричної форми або тієї, що забезпечує велике значення радіуса різальної кромки, похибки положення різальної кромки не будуть суттєво впливати на якість обробки.

Тому було виділено наступні напрямки вдосконалення конструкцій торцевих ступінчастих фрез:

- використання на чистових ступіннях ножів з безвершинною геометрією;
- розробка конструкції різального ножа з великим радіусом заокруглення різальної кромки.

Розглянуто вплив режимів різання на якість обробки площин, зменшення впливу яких відбувається в такому порядку: подача, швидкість різання та глибина. Це дозволило визначити раціональні режими різання при обробці загартованих сталей та чавунів. При фрезеруванні сірого чавуну значення подачі –  $S_z$  до 0,15 мм/зуб.; при фрезеруванні загартованої сталі –  $S_z$  до 0,08 мм/зуб. Швидкість різання, за якої спостерігається зменшення висоти мікронерівностей, для загартованої сталі має становити  $>4$  м/с, для чавуну –  $>12$  м/с.

Інтенсивність впливу подачі та швидкості різання на якість поверхні при обробці загартованих сталей та чавунів різна. Встановлено, що при обробці загартованих сталей існує необхідність встановлення менших подач, а при обробці чавунів – збільшення швидкості різання.

Для дослідження впливу складових сил різання на якість обробки були проведені розрахунки колової складової сили різання  $P_k$  за рівняннями, розробленими О.М. Розенбергом та О.О. Розенбергом [52]:

$$\sum_1^m P_k = 0,28 \cdot S_k \cdot \left[ S_z \cdot t \cdot K_2 \cdot \sum_1^m \sin(\psi) + m l_p (\delta_0 + \delta) \right], \quad (1)$$

де  $S_k$  – напруга при розірванні зразка;  $S_z$  – подача на зуб;  $t$  – глибина різання;  $K_2$  – коефіцієнт, що залежить від значень переднього кута та усадки стружки;  $m$  – кількість ножів, що беруть участь у різанні в поточний час;  $\psi$  – центральний кут, що визначає миттєве положення ножа в процесі обробки;  $l_p$  – загальна довжина всіх робочих ділянок різальних кромок ножа;  $\delta_0 = 0,03$  мм – ширина контакту ножа з оброблюваною поверхнею без наявності фаски зношування;  $\delta$  – ширина фаски зношування по задній поверхні.

Для визначення колової складової сили різання були розраховані та побудовані моделі 2-х, 3-х та 4-ступінчастих фрез з розташуванням різальних ножів по логарифмічних спіралях; розраховано кількість ножів, що одночасно беруть участь у різанні. Розрахунки проводились за допомогою математичного пакета MathCAD.

Сила  $\Sigma P_k$  за один оберт змінюється у зв'язку зі зміною  $\Sigma \sin(\psi)$ . Графічно було визначено значення кута  $\psi$  в різні моменти обробки.

За результатами розрахунків колових сил різання для одно- та чотирьохступінчастої фрези були побудовані графіки (рис. 1, 2).

Результати розрахунків показують, що найбільш раціональним є використання багатоступінчастих торцевих фрез: сумарна колова сила  $\Sigma P_k$  для багатоступінчастої фрези менша, ніж при використанні одноступінчастої торцевої фрези в середньому в 1,2 раза.

Розглянуто основні геометричні похибки технологічного обладнання, їх вплив на якість обробки торцевими ступінчастими фрезами. Запропонована необхідність перевірки найбільш характерних параметрів верстата один раз на місяць: радіальне биття осі конічної (циліндричної) поверхні шпинделя; торцеве биття шпинделя; торцеве биття оправки; радіальне биття осі циліндричного фланця оправки; непаралельність торця фрези поперечному ходу стола; непаралельність торця фрези повздовжньому ходу та ін.

Визначено закономірності зміни нормальних та дотичних сил в процесі різання від величини контакту по задній та передній поверхнях інструменту. Дані про характер зміни розмірів контактних площадок залежно від умов різання необхідні для визначення контактних напруг, що діють на різальний клин інструмента. Тому були розглянуті залежності зміни розмірів контактних площадок від товщини зрізу для різних за твердістю сталей та чавуну. Найбільша довжина контактної площадки на передній поверхні спостерігалась при фрезеруванні незагартованої сталі, що пояснюється збільшенням коефіцієнта потовщення стружки. При фрезеруванні сірого чавуну довжина контакту в 2–3 рази менша, що пояснюється низькою пластичністю чавуну та утворенням в процесі різання суглобистої стружки, яка має низьку міцність.

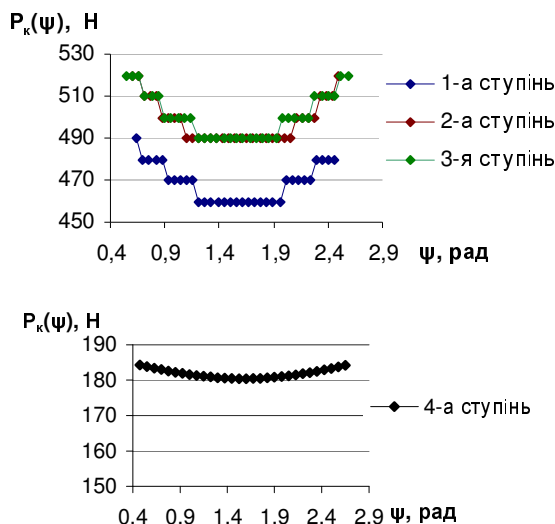


Рис. 1. Графіки коливання колових складових сили різання 4-ступінчастої фрези за один оберт

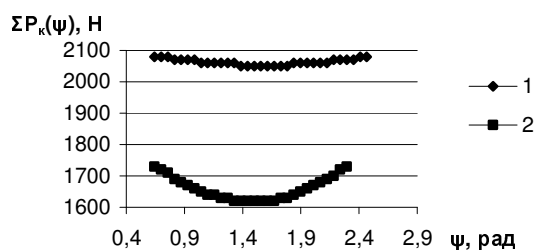


Рис. 2. Графік коливання сумарних колових складових сили різання: 1 – одноступінчаста торцева фреза; 2 – 4-ступінчаста торцева фреза

Досліджені особливості зміни контактних площадок і напруг на задній поверхні різального клину при обробці сірого чавуну та загартованої й незагартованої сталей. При обробці сірого чавуну та незагартованої сталі нормальні напруження по задній поверхні – мінімальні, коли сила тертя та нормальна сила на передній поверхні найбільші (вони розвантажують задню поверхню). Дотичні напруження залежно від швидкості різання практично не змінюються: при фрезеруванні незагартованої сталі в середньому в 1,5–3 рази більше, ніж при обробці чавуну (зростає частка сил адгезії). При фрезеруванні загартованої сталі діючі на задній поверхні інструменту нормальні напруги сягають 1600–2000 МПа, дотичні напруження в середньому в 2–5 разів більші, порівняно з незагартованою сталлю.

Таким чином, при обробці чавуну та незагартованих сталей нормальні напруги (500–1000 МПа) ще не призводять до макроруйнування ножів з гексаніту-Р, межа витривалості яких в 1,4 раза менше за межу міцності 2500–3000 Мпа. Нормальні напруги, що виникають при фрезеруванні загартованих сталей та високоміцних матеріалів (2000–2500 МПа) перевищують межу витривалості інструментального матеріалу та призводять до крихкого руйнування різального клина.

Розглянуто різні види зношування різальних ножів та причини їх виникнення. Проаналізовано вплив величини площадки зношування на якість обробки та визначено критерій зношування для чистових та чорнових ножів торцевих фрез: для чистового фрезерування  $h_z = 0,15\text{--}0,4$  мм ( $Ra = 0,8\text{--}1,6$  мкм), для чорнового –  $h_z = 0,5\text{--}0,8$  мм ( $Ra = 3,2$  мкм).

Розраховано сумарні стійкості для різних ступінчастих торцевих фрез: для 2-ступінчастої фрези ~290 хв., для 3-ступінчастої ~280 хв.; для 4-ступінчастої фрези ~270 хв.

Дослідження факторів, що впливають на зношування ножів торцевих фрез з ПНТМ, дозволяє розробити та використати під час експлуатації такого інструменту методи зменшення зношування і за рахунок цього підвищити стійкість інструменту.

У роботі розглянуто та проаналізовано вплив режимів різання на стійкість ступінчастих торцевих фрез з ПНТМ. Найбільше на стійкість торцевих багатоступінчастих фрез впливають швидкість різання та подача, меншою мірою – глибина різання.

Для аналізу впливу швидкості різання на стійкість інструменту були розраховані режими різання для чотирьохступінчастої торцевої фрези при обробці чавуну СЧ20 та сталі 40Х та при рівномірному та

нерівномірному розподілі припуску за глибиною. Розрахунки виконувались за допомогою програми Microsoft Excel для двох варіантів розподілу припусків (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Розрахунок режимів різання при обробці СЧ20 (НВ 190)

№ ст.	$z$	$D$	$B$	$t$ , мм	$S_z$	$T$ , хв.	$V$ , м/хв.
1	6	300	240	1,5	0,03	300	192,6403
2	6	290	240	1,5	0,03	300	191,3385
3	6	280	240	1,5	0,03	300	190,0004
4	6	270	240	1,5	0,03	300	188,6234
№ ст.	$z$	$D$	$B$	$t$ , мм	$S_z$	$T$ , хв.	$V$ , м/хв.
1	6	300	240	2	0,03	300	184,5042
2	6	290	240	2	0,03	300	183,2574
3	6	280	240	1,8	0,03	300	184,8746
4	6	270	240	0,2	0,03	300	255,1848

Таблиця 2

Розрахунок режимів різання при обробці сталі 40X (HRC 50)

№ ст.	$z$	$D$	$B$	$t$ , мм	$S_z$	$T$ , хв.	$V$ , м/хв.
1	6	300	240	1,5	0,03	100	54,94365
2	6	290	240	1,5	0,03	100	54,57237
3	6	280	240	1,5	0,03	100	54,19071
4	6	270	240	1,5	0,03	100	53,79798
№ ст.	$z$	$D$	$B$	$t$ , мм	$S_z$	$T$ , хв.	$V$ , м/хв.
1	6	300	240	2	0,03	100	54,00341
2	6	290	240	2	0,03	100	53,63849
3	6	280	240	1,8	0,03	100	53,0113
4	6	270	240	0,2	0,03	100	60,71132

Результати розрахунків показують, що при рівномірному розподілі припуску по ступінях швидкість різання чистової ступіні менша, ніж чорнової. Це суперечить оптимальному вибору режимів різання, коли чистову обробку необхідно робити на більших швидкостях різання для забезпечення якісної поверхні. При нерівномірному розподілі глибини різання, а саме, коли на чистову ступінь залишають малу товщину зрізу, теоретичний розподіл швидкості різання має іншу картину: швидкість різання на чистовій ступіні перевищує швидкість різання чорнових ступіней. Це дозволяє отримати необхідну шорсткість поверхні.

За допомогою загальної стійкісної залежності були побудовані графіки впливу режимів різання на стійкість чотирьохступінчастої торцевої фрези. При обробці сірого чавуну СЧ20(НВ190) при збільшенні швидкості різання від 3 до 9 м/с спостерігалось підвищення стійкості інструмента до 5 разів. Інша картина отримана при обробці сталі 40X(HRC50) – збільшення швидкості різання призвело до зменшення стійкості інструменту. Такі відмінності можна пояснити тим, що при обробці чавуну знос інструменту має більш механічний характер і при збільшенні швидкості різання сили тертя інструменту з оброблюваним матеріалом зменшуються. При збільшенні швидкості різання при обробці сталі збільшуються адгезійні зв'язки, інтенсифікується дифузія і, відповідно, стійкість інструмента буде зменшуватись.

При досягненні високих швидкостей різання спостерігається збільшення стійкості, що пояснюється зменшенням при високих швидкостях різання негативного впливу на ножі фрези термоциклічності, механічних ударів при вході та виході з заготовки, зниження температури в зоні різання.

Тому одним з резервів підвищення працездатності інструмента є робота на високих швидкостях різання: швидкість різання для чистової обробки при глибині  $t = 0,05-0,5$  мм для торцевих фрез з ПНТМ при обробці не термооброблених чавунів досягає 3000 м/хв., а конструкційних сталей – 900 м/хв.; загартовані чавуни і сталі оброблюють зі швидкістю 500 м/хв. (залежно від твердості).

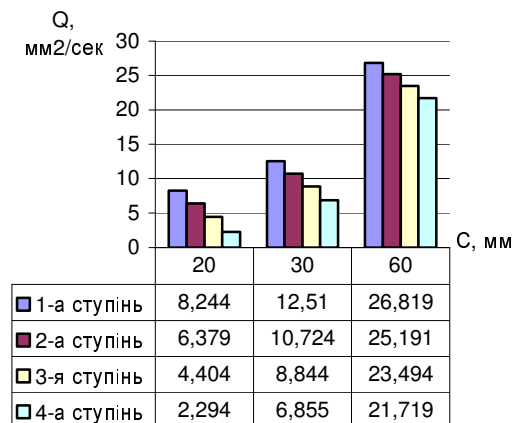


Рис. 3. Гістограма зміни швидкості врізання різального ножа кожної ступіні фрези щодо способу встановлення інструменту

Достатньо високу продуктивність та стійкість торцевої фрези з ПНТМ було отримано в діапазоні подач  $S_z = 0,01-0,04$  мм/зуб. Глибина різання менш суттєво впливає на стійкість торцевої фрези. Її величина залежить лише від розмірів пластинок з ПНТМ та необхідної якості обробки. Доведено, що для великих глибин різання доцільно використовувати багатоступінчасті торцеві фрези з ПНТМ, тим самим, розподіляючи загальну глибину різання по ступінням. Такий розподіл є також одним зі шляхів збільшення загальної стійкості торцевої фрези.

Розглянуті різні умови роботи торцевої фрези з ПНТМ та проаналізований вплив кожної з них на стійкість інструмента. На стійкість інструмента, оснащеного ПНТМ, суттєво впливають умови врізання ножа фрези в заготовку. В роботі показано можливі варіанти контакту ножа фрези з оброблюваним матеріалом в момент врізання та визначено найбільш оптимальні з них.

Основним фактором впливу на стійкість фрези є швидкість врізання, яка обернено пропорційна стійкості інструмента:

$$Q = \frac{v_c \cdot S_z \cdot \cos \varepsilon \cdot \sin \varphi}{\cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varepsilon - \operatorname{tg} \lambda} \quad (2)$$

Аналіз залежності (2) показав, що швидкість врізання  $Q$  практично залежить при заданому режимі (швидкості різання  $v$  і подачі на зуб  $S_z$ ) лише від кутів фрези  $\lambda$  і  $\varphi$ , і від величини  $\varepsilon$ , що характеризує установку. Головний передній кут у нормальному перетині  $\gamma$  за відсутності перехідної фаски на фрезі практично не впливає на швидкість врізання.

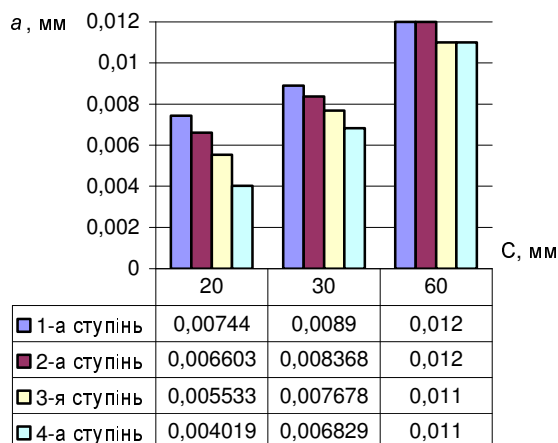


Рис. 4. Гістограма зміни товщини стружки в момент врізання від способу установки інструменту

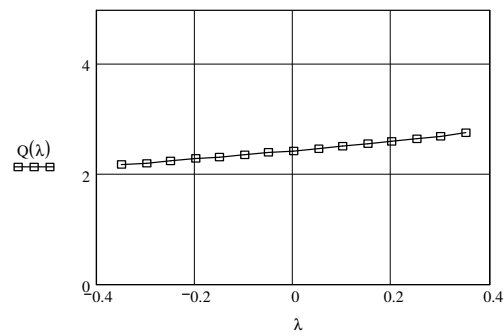
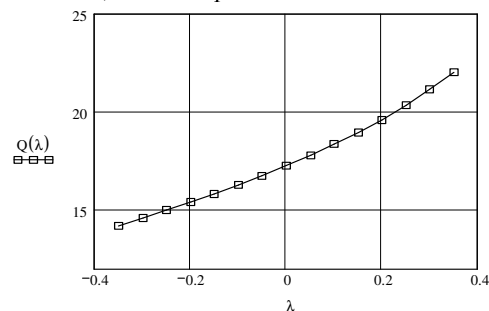
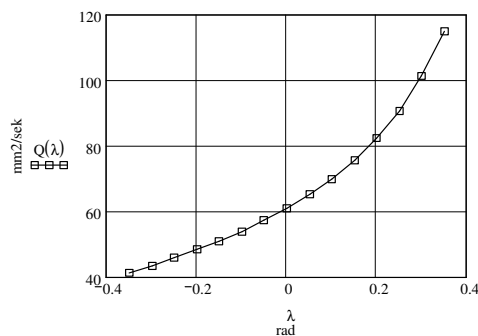
Для визначення раціонального положення фрези щодо заготовки було розраховано швидкість врізання  $Q$  та товщину стружки  $a$  в момент врізання для чотирьохступінчастої торцевої фрези при різних способах установки: несиметрична установка  $C = 20$  мм та

$C = 60$  мм; симетрична установка  $C = 30$  мм. Числові розрахунки здійснено в пакеті MathCad та побудовано гістограму в Microsoft Excel (рис. 3, 4).

Результати розрахунків показують, що найменша швидкість врізання та найменша товщина стружки в момент врізання, а, отже, більша стійкість інструменту, спостерігалась при суміщенні фрези відносно симетричного положення в менший бік ( $C = 20$  мм).

Вибір переднього кута  $\gamma$  і кута в плані  $\varphi$  фрези звичайно залежить від оброблюваного матеріалу, а також від жорсткості системи інструмент–верстат–деталь. Тому правильним є пристосовувати геометрію передньої грані фрези до більш сприятливих умов врізання за рахунок вибору кута  $\lambda$  (рис. 5).

Результати розрахунків показали, що найбільш раціональними для умов врізання фрези у заготовку будуть величини кута  $\lambda$  в межах  $\lambda = -20-0^\circ$ .

а) несиметричне  $C = 20$  ммб) симетричне  $C = 30$  ммв) несиметричне  $C = 60$  ммРис. 5. Графіки залежності швидкості врізання  $Q$  від кута  $\lambda$ 

Для аналізу впливу кількості ножів, що одночасно беруть участь в різанні, на стійкість інструменту при різному способі установки щодо деталі був реалізований алгоритм і програма обчислення кількості ножів на ЕОМ в пакеті MathCad. Фрагмент такого розрахунку показаний на рисунку 6.

За найбільш раціональний варіант необхідно приймати той, в якому спостерігається найбільше приближення кількості ножів  $m_{роз}$  до найближчого цілого числа, тобто  $m_{роз} \rightarrow m$  ( $m \in N$ ),  $m = \max$ .

Результати розрахунків (табл. 3) показують, що для несиметричного розташування заданої фрези ( $C = 20$  мм і  $C = 40$  мм) найраціональнішою є конструкція з кількістю ступіней  $n = 4$ . В свою чергу, для симетричного розташування оптимальною конструкцією буде фреза з кількістю ступіней  $n = 5$ .

Такий розрахунок можливо провести для будь-якої торцевої фрези будь-якого діаметра за допомогою програми MathCAD. Це дасть змогу обрати раціональну конструкцію ступінчастої торцевої фрези, тим самим забезпечити найбільшу стійкість інструменту.

Таблиця 3

n	C = 20 мм			C = 30 мм (симетрично)			C = 40 мм		
	$m_{розр}$	$\rightarrow m$	$\Delta$	$m_{розр}$	$\rightarrow m$	$\Delta$	$m_{розр}$	$\rightarrow m$	$\Delta$
1	7,149	7	0,149	7,084	7	0,084	7,149	7	0,149
2	7,343	7	0,343	7,265	7	0,265	7,343	7	0,343
3	7,562	8	0,438	7,466	7	0,466	7,562	8	0,438
4	7,82	8	0,180	7,69	8	0,310	7,82	8	0,180
5	8,227	8	0,227	7,949	8	0,051	8,227	8	0,227

$$B := 240 \quad D := 300$$

$$X := 5 \quad C := 20$$

$$z := 24$$

$$v := \frac{2\pi}{z}$$

$$n := 1, 2..5$$

$$m(n) := \frac{\sum_{n=1}^n \left[ \arccos \left[ 1 - \frac{2 \cdot [B + C - (n-1) \cdot X]}{D - 2 \cdot (n-1) \cdot X} \right] - \arccos \left[ 1 - \frac{2 \cdot [C - (n-1) \cdot X]}{D - 2 \cdot (n-1) \cdot X} \right] \right]}{n \cdot v}$$

m(n) =
7.149
7.343
7.562
7.82
8.227

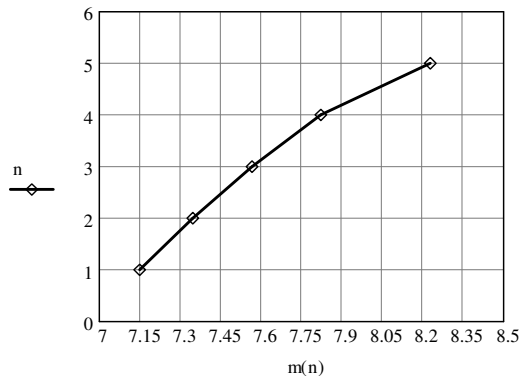


Рис. 6. Фрагмент програми MathCAD для розрахунку кількості ножів, що беруть участь в різанні та оптимальної кількості ступіней для обраної фрези:  $B$  – ширина фрезерування;  $D$  – діаметр, на якому розташовані ножі першої ступіні (максимальний діаметр);  $X$  – радіальна відстань між ступінцями;  $v$  – центральний кут між ножами;  $C$  – величина зміщення фрези відносно заготовки

Розглянуто також вплив геометричних параметрів різальних ножів торцевих фрез на стійкість інструменту. Визначено найбільш раціональні величини цих параметрів: при фрезеруванні загартованої сталі  $\gamma = -10-15^\circ$ ,  $\alpha = 8-10^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ; при фрезеруванні сірого чавуну  $\gamma = -10-15^\circ$ ,  $\alpha = 10-12^\circ$ ,  $\varphi = 30-45^\circ$ .

Наведені недоліки використання паяних різальних пластин з ПНТМ в торцевих фрезах. Торцеві фрези, що оснащені поворотними різальними пластинами з ПНТМ, мають істотні переваги: виключається можливість випадання різального елемента зі вставки в процесі різання, завдяки великій кількості різальних кромок у кілька разів збільшується кількість періодів стійкості різального елемента, з'являється можливість робити переточування різальних елементів поза інструментом, що значно знижує зношування алмазних кругів.



Важливою умовою одержання якісно оброблених поверхонь і значного підвищення працездатності є виключення з конструкції різального елемента вершини, при цьому забезпечити максимально великий радіус різальної кромки, який забезпечить підвищення якості обробки.

З урахуванням названих вище умов було запропоновано використовувати на чистових ступінях торцевих фрез різальні ножі конічної форми (рис. 7).

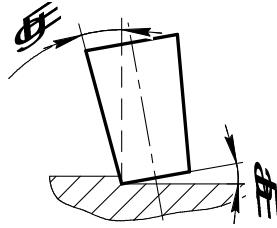


Рис. 7. Схема утворення переднього та заднього кутів при використанні конічного різального ножа

Різальною кромкою конічного різального елемента є лінія перетину площини меншої основи конуса і бічної поверхні. Як задню поверхню передбачено використовувати плоску грань меншої основи конуса. Для утворення задніх кутів різальних елементів їхні осі повинні розташовуватися під відповідними кутами відповідно перпендикулярам до векторів швидкості різання.

Для визначення кількості періодів стійкості конічного різального елемента до переточки, було розраховано радіус кривизни проекції різальної кромки  $\rho$  та робочу довжину різальної кромки  $L$ . При  $r = 3,5$  мм (радіус меншої основи конуса),  $\alpha = 10^\circ = 0,17$  рад.,  $t = 0,2$  мм,  $S = 0,03$  мм/зуб. отримали  $\rho = 22,827$  мм,  $L = 3,039$  мм, що відповідає кількості періодів стійкості  $T = 6,2$ . При допустимому зношуванні  $h_s \leq 0,3$  мм та 8 перешліфовках ресурс роботи такого різального ножа складатиме в середньому 48 періодів стійкості.

Розрахункова висота нерівностей перебуває в межах 0,016–0,25 мкм, що відповідає шорсткості  $Ra = 0,008$ –0,125 мкм за ГОСТ 2789-73. Це дозволяє використовувати такий різальний ніж для оснащення чистової ступені багатоступінчастої торцевої фрези.

Для встановлення такого різального ножа в корпусі фрези було сконструйовано вузол кріплення конічного ножа (рис. 8).

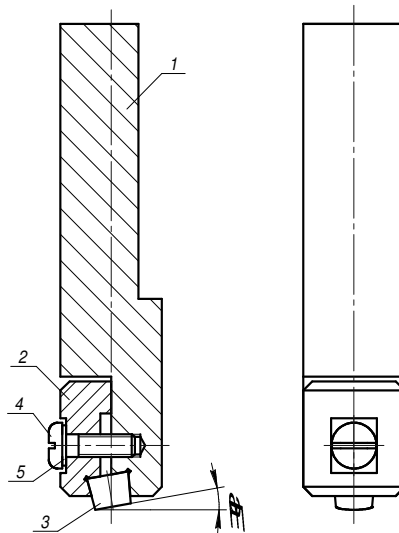


Рис. 8. Вузол кріплення конічного різального ножа з ПНТМ типу „картридж“

Вузол кріплення складається з циліндричної державки 1, прихвату 2 та зажимного гвинта 4 з шайбою 5. Прихват 2 та державка 1 мають внутрішню конічну поверхню, розташовану під необхідним кутом  $\alpha$ , в якій меншою основою усіченого конуса назовні вставляється конічний різальний ніж 3. Закріплення різального ножа 3 в конічному отворі державки 1 та прихвату 2 відбувається за допомогою гвинта 4 з шайбою 5. Гвинт 4 прижимає прихват 2 до державки 1, що не дозволяє випадіння різального ножа 3. Стопоріння різального ножа 3 відбувається за рахунок торця конічного отвору в корпусі прихвату 2 та державки 1. Конічний різальний ніж 3 під дією вертикальної складової сил різання притискається більшою основою усіченого конуса до названого вище торця.

Установку запропонованого вузла кріплення конічного різального ножа в корпусі чотирьохступінчастої торцевої фрези зображено на рисунку 9.

Картридж з конічним різальним інструментом 1 встановлюють в гніздо циліндричної форми в корпусі фрези. Регулювання положення „картриджу” щодо оброблюваної заготовки відбувається за рахунок стопорного гвинта 4. Закріплення „картриджу” та захист його від повороту відбувається за допомогою гвинта 2, який встановлюється в різбову втулку 3.

Загальний вигляд чотирьохступінчастої торцевої фрези з різальними ножами з ПНТМ конічної та циліндричної форми зображено на рисунку 10. Картриджі з конічними різальними ножами розташовані на позиціях 4, 8, 12, 16, 20, 24. Інші позиції займають картриджі з циліндричними різальними ножами.

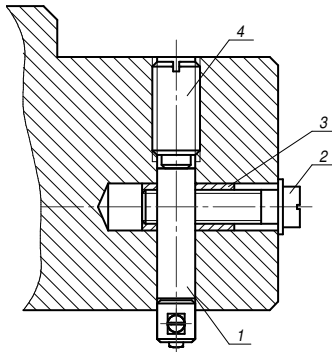


Рис. 9. Схема установки „картриджа” в корпусі фрези

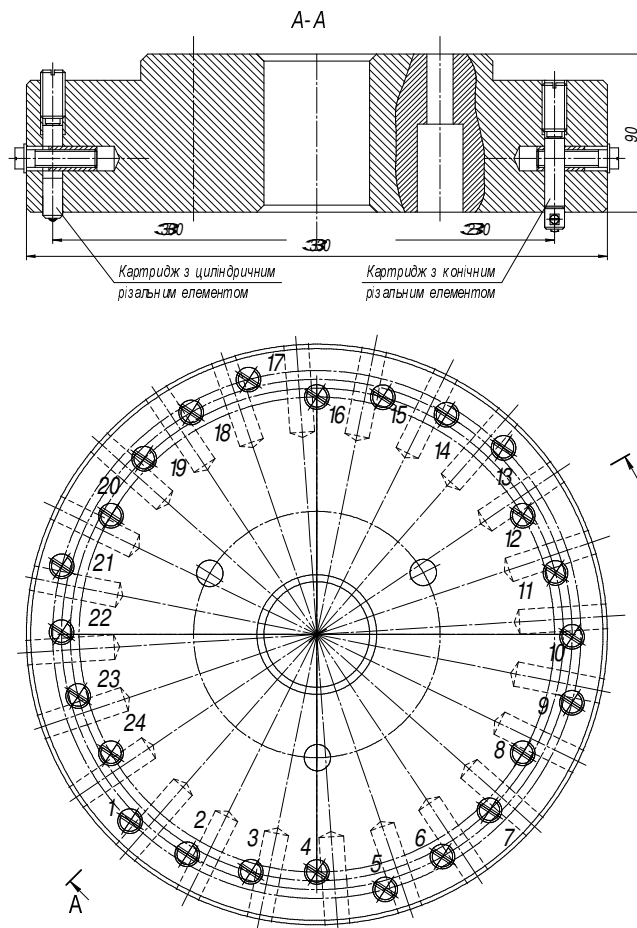


Рис. 10. Чотирьохступінчаста торцева фреза з різальними ножами з гексаніту-Р конічної та циліндричної форм ( $z = 24$ ), що розташовані за логарифмічними спіралями

Така конструкція ступінчастої торцевої фрези з різальними ножами з гексаніту-Р дозволяє:

- отримати низьку шорсткість оброблюваної поверхні ( $Ra = 0,008-0,125$  мкм) за рахунок використання за профілюючі ножі вставок з конічними різальними елементами;
- забезпечити високу стійкість інструменту за рахунок збільшення періодів стійкості різальних ножів;
- зрізати основну частину припуску ножами циліндричної форми;
- за рахунок ступінчастого розташування різальних ножів підвищити максимальну глибину різання і поєднати чорнові і чистові операції за один прохід;
- здійснити регулювання осьового вильоту різальних ножів відносно оброблюваної заготовки;
- застосовувати фрезу для обробки плоских поверхонь на верстатах фрезерної та шліфувальної груп.

Визначимо основні вимоги до технологічного обладнання, на якому передбачається використовувати спроектований інструмент.

Для визначення наявності обладнання за ефективною потужністю при фрезеруванні багатоступінчастими фрезами з ПНТМ розраховано ефективні потужності для різноступінчастих фрез. Сумарна глибина різання  $t_{\text{сум}}$  для усіх обраних конструкцій фрез змінювалась від 1,5 до 10 мм.

Розрахунки проводились за вже визначеними режимами різання, оброблюваний матеріал – чавун СЧ20 (HB 190) (рис. 11).

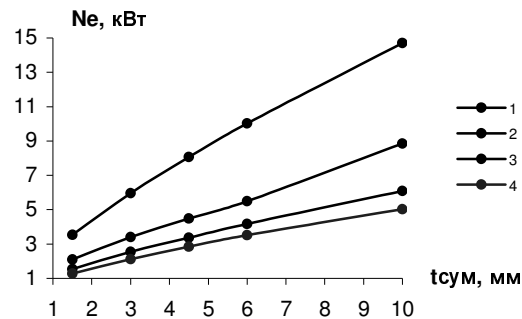


Рис. 11. Графік залежності ефективної потужності  $Ne$  від сумарної глибини різання для ступінчастих торцевих фрез з ПНТМ: 1 – одноступінчаста; 2 – двоступінчаста; 3 – трьохступінчаста; 4 – чотирьохступінчаста

Результати розрахунку показують, що ефективна потужність різання торцевими фрезами з ПНТМ за різних сумарних глибинах різання зменшується зі збільшенням кількості ступіней фрези. Для чотирьохступінчастої торцевої фрези з сумарною глибиною різання  $t_{\text{сум}} = 10$  мм ефективна потужність  $Ne$  складає 5,032 кВт. Це дає можливість сказати, що використання таких конструкцій торцевих фрез з ПНТМ можливо на багатьох існуючих верстатах фрезерної групи.

#### Висновки:

1. Проведений аналіз фізико-механічних властивостей ПНТМ існуючих конструкцій торцевих фрез глибинного різання та геометричних параметрів їх різальних частин дозволив визначити переваги та недоліки існуючих конструкцій інструменту.

2. Теоретично досліджений вплив геометричних параметрів різальних частин ножів торцевих фрез та режимів різання на якість обробки. Для покращення якості обробленої поверхні запропоновано використовувати ножі з безвершинною радіусною різальною кромкою.

3. Рекомендовано наступні режими різання для забезпечення якісної обробки: при фрезеруванні сірого чавуну:  $S_z$  до 0,15 мм/зуб.,  $V > 12$  м/с; при фрезеруванні загартованої сталі:  $S_z$  до 0,08 мм/зуб.,  $V = 4-5$  м/с.

4. Розрахунки силових факторів для торцевих фрез глибинного різання та для одноступінчастих торцевих фрез показали, що сумарна колова складова сили різання  $\Sigma P_k$  для багатоступінчастої фрези менша, ніж при використанні одноступінчастої торцевої фрези, в середньому в 1,2 раза.

5. Проведені розрахунки змін стійкості торцевих фрез глибинного різання з ПНТМ від різних факторів впливу. Узагальнені стійкісні параметри різальних частин: при фрезеруванні загартованої сталі  $\gamma = -10-15^\circ$ ,  $\alpha = 8-10^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ; при фрезеруванні сірого чавуну  $\gamma = -10-15^\circ$ ,  $\alpha = 10-12^\circ$ ,  $\varphi = 30-45^\circ$ . Встановлено, що зсув інструменту від симетричного положення щодо деталі сприяє підвищенню стійкості торцевої фрези з ПНТМ. Найбільш раціональними для умов врізання фрези у заготовку будуть величини кута  $\lambda$  в межах  $\lambda = -20-0^\circ$ .

6. Реалізований алгоритм розрахунку оптимальної кількості ступіней для заданих параметрів торцевих фрез глибинного різання за допомогою пакета MathCAD.

7. Теоретично доведені стійкісні та якісні переваги конічного різального ножа з ПНТМ. Запропоновано використовувати конічні різальні ножі на чистових ступіннях торцевих фрез глибинного різання.

8. Запропонована конструкція вузла кріплення конічних різальних ножів з ПНТМ в корпусі торцевих ступінчастих фрез.

9. Для визначення достовірності проведених теоретичних розрахунків і можливості їх впровадження у виробничих умовах необхідним є проведення експериментальних досліджень в подальшому.

#### Список використаної літератури:

1. *Базров Б.М.* Совершенствование машиностроительного производства на основе модельной технологии / *Б.М. Базров* // Станки и инструмент. – 1965. – № 10.
2. *Бетанели А.И.* Прочность и надежность режущего инструмента / *А.И. Бетанели.* – Тбилиси, 1973. – 304 с.
3. *Боровский Г.В.* Режущий инструмент из сверхтвердых материалов / *Г.В. Боровский.* – М. : НИИмаш, 1984. – 56 с.
4. *Бочко А.В.* Режущий инструмент, оснащенный гексанитом-Р : рекламный буклет / *А.В. Бочко, Г.А. Седляр.* – К. : Реклама, 1983. – 6 с.
5. *Виговський Г.М.* Коливання сил різання при обробці деталей торцевими ступінчастими фрезами / *Г.М. Виговський* // Вісник ЖІТІ / Інженерні науки. – Вип. № 9. – 1999.
6. *Вульф А.М.* Резание металлов / *А.М. Вульф.* – изд. 2-ое. – Л. : Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1973. – 476 с.
7. *Выгодский М.Я.* Справочник по высшей математике / *М.Я. Выгодский.* – М. : Наука, 1972. – 872 с.
8. *Гомон Г.О.* Классификация сверхтвердых материалов / *Г.О. Гомон* // Тр. ВНИИАШ. – Л., 1975. – 134 с.
9. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні : підручник / *А.І. Грабченко, М.В. Везуб, Ю.М. Внуков* та ін. ; за ред. *А.І. Грабченка.* – Житомир : ЖДТУ, 2003. – 451 с.
10. *Громовий О.А.* Розробка чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання : автореф. дис. ... канд. техн. наук / *О.А. Громовий* // Нац. технічний університет України “КПІ”. – К., 2002.
11. *Гуресян В.И.* Инструмент из сверхтвердых материалов и его применение : справочник / *В.И. Гуресян, В.А. Манжар.* – Львов : Каменяр, 1984. – 234 с.
12. *Джамаров С.С.* Особенности формирования микроструктуры спеков на основе вюрцитного нитрида бора (гексанита-Р) / *С.С. Джамаров, Г.С. Курдюмов* // Порошковая металлургия. – 1982. – № 8.
13. *Зорев Н.Н.* Исследование элементов механики процесса резания / *Н.Н. Зорев.* – М. : Машиностроение, 1952. – 363 с.
14. *Зорев Н.Н.* Влияние установки заготовки на стойкость фрез при торцевом фрезировании / *Н.Н. Зорев* // Вестник машиностроения. – № 8. – 1952.
15. *Исеев А.И.* Процессы образования поверхностного слоя при обработки металлов резанием / *А.И. Исеев.* – М. : Машиностроение, 1950. – 383 с.
16. *Каменкович А.С.* Исследование процесса фрезирования закаленной стали и чугуна торцовыми фрезами из эльбора-Р / *А.С. Каменкович, Л.Г. Деревин* // Станки и инструменты. – Вып. № 12. – 1976.
17. *Карюк Г.Г.* Лезвийный инструмент из Гексанита-Р / *Г.Г. Карюк, А.В. Бочко, Л.А. Коновалов* // Сверхтвердые материалы. – 1982. – № 6.
18. Высокопроизводительные инструменты из гексанита-Р / *Г.Г. Карюк, А.В. Бочко, О.И. Мойсеенко, В.К. Сидоренко.* – К. : Наук. думка, 1985. – 136 с.
19. *Карюк Г.Г.* Режущий инструмент, оснащенный сверхтвердым материалом на основе вюрцитного нитрида бора – гексанитом-Р / *Г.Г. Карюк, В.М. Волкогон, В.С. Антонюк* // Высокие технологии в машиностроении : сб. науч. тр. НТУ ХПИ. – Харьков, 2001. – Вып. 1 (4).
20. Конструкции и эксплуатация торцовых фрез из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора : метод. рекомендации. – М. : НИИмаш, 1984. – 67 с.
21. *Коротченко В.Л.* Физические закономерности и повышение эффективности процесса резания железоуглеродистых сплавов торцевыми фрезами из гексанита-Р : автореф. дис. ... канд. техн. наук / *В.Л. Коротченко.* – К., 1987. – 17 с.
22. *Кравченко Б.А.* Фрезерование торцовыми фрезами, оснащенными сверхтвердыми материалами / *Б.А. Кравченко, Я.Н. Лищинский, Н.Я. Лищинский* // Синтетические алмазы. – Вып. № 3. – 1977.
23. *Кразельский И.В.* Основы расчета на трение и износ / *И.В. Кразельский, Н.М. Добычин, В.С. Комбалов.* – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.

24. *Лецицин Н.А.* Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов / *Н.А. Лецицин, Р.М. Свиринский, В.А. Ильин.* – К. : Техніка, 1981. – 120 с.
25. *Лицинский Я.Н.* Стойкость и износ фрез, оснащенных резцами из Эльбора-Р, в связи с динамикой процесса резания / *Я.Н. Лицинский, Н.Я. Лицинский* // Сборник научных трудов / Куйбышевский авиационный институт. – 1978.
26. *Лоладзе Т.Н.* Прочность и износостойкость режущего инструмента / *Т.Н. Лоладзе.* – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
27. *Мельничук П.П.* Безвершинне косокутне фрезерування. Шорсткість поверхні / *П.П. Мельничук* // Весник НТУУ "КПІ". – № 37. – 1999.
28. Комп'ютерне моделювання процесу обробки ступінчастими фрезами / *П.П. Мельничук, Г.М. Виговський, О.А. Громовий* та ін. // Високі технології в машинобудуванні : зб. наук. праць НТУ „ХПІ”. – Харків, 2001. – Вип. 1 (4).
29. *Наволн М.О.* Исследование температурного поля и напряжений в зубьях фрез с целью повышения работоспособности инструмента : автореф. дис. ... канд. техн. наук / *М.О. Наволн.* – К., 1981. – 23 с.
30. *Новиков Н.В., Андросов И.М.* Зависимость механических свойств полликристаллов сверхтвердых материалов на основе нитрида бора от температуры / *Н.В. Новиков, И.М. Андросов* // Влияние высоких давлений на структуру и свойства материалов. – К. : ИСМ АН УССР, 1983. – 214 с.
31. *Ординарцев И.А.* Справочник инструментальщика / *И.А. Ординарцев.* – Л. : Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1987. – 846 с.
32. *Остафьев В.А.* Расчет динамической прочности режущего инструмента / *В.А. Остафьев.* – М. : Машиностроение, 1979. – 168 с.
33. *Полетика М.Ф.* Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / *М.Ф. Полетика.* – М. : Машиностроение, 1959. – 148 с.
34. Режущие многогранные пластины из вюрцитного нитрида бора // РЖ 14. Технология машиностроения / ВИНТИ. – 1984. – № 5. – 5А613.
35. *Резников Н.И.* Вопросы скоростного фрезирования / *Н.И. Резников* // Вестник машиностроения. – Вып. № 11. – 1947.
36. *Рождественский Л.А.* К вопросу скоростного фрезирования / *Л.А. Рождественский* // Вестник машиностроения. – № 9. – 1951.
37. *Розенберг А.М.* Элементы теории процесса резания металлов / *А.М. Розенберг, А.Н. Еремин.* – М. : Машиностроение, 1956. – 318 с.
38. *Розенцвейг В.Д.* Влияние положения торцевой фрезы относительно оси симметрии фрезеруемой поверхности на стойкость / *В.Д. Розенцвейг, В.Н. Осипенко* // Вестник машиностроения. – № 8. – 1952.
39. *Свиринский Р.М.* Чистовая обработка плоскостей чугуновых деталей фрезами из эльбора-Р / *Р.М. Свиринский* // Станки и инструменты. – Вып. № 9. – 1976.
40. *Сенькин Е.Н.* Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами / *Е.Н. Сенькин, Г.В. Филипов, А.В. Колядин.* – Л. : Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 63 с. (Б-чка фрезеровщика ; Вып. 4).
41. Физические особенности процесса резания резцами на синтетических сверхтвердых материалах / *А.Г. Тимчук, В.П. Зубарь, В.К. Крюков* та ін. // Новое в теории и практике создания и применения синтетических сверхтвердых материалов. – К. : ИСМ АН УССР, 1983. – 356 с.
42. Гексанит-Р – новый сверхтвердый материал для обработки закаленных сталей и чугунов / *В.И. Трефилов, И.Н. Францевич, А.Н. Пилянкевич* и др. // Синтетические алмазы – ключ к техническому процессу. – К. : Наук. думка, 1977. – Т. 1.
43. *Фейман И.И.* Работоспособность фрез из сверхтвердых материалов / *И.И. Фейман, М.Е. Буков* // Станки и инструменты. – Вып. № 12. – 1983.
44. *Филлипов Г.В.* Режущий инструмент / *Г.В. Филлипов.* – Л. : Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1981. – 392 с.
45. Сверхтвердые материалы / *И.Н. Францевич* и др. – К. : Наук. думка, 1980. – 296 с.
46. *Этин А.О.* Методы повышения производительности при скоростном фрезировании / *А.О. Этин* // ЦБТИ. – 1951.
47. *Яцерицин П.И.* Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах : учебник / *П.И. Яцерицин, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн.* – Мн. : Выш. шк., 1990. – 512 с.
48. Metalcutting answers [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.stellram.com](http://www.stellram.com).
49. Products Milling Facemilling [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.SandvikCoromant.com](http://www.SandvikCoromant.com).
50. *Rahman M.* A Review on High-Speed Machining of Titanium Alloys / *M.Rahman, Zhi-Gang Wang, Yoke-San Wong* // JSME International Journal / Series C. – Vol. 49, № 1. – 2006.

51. *Виговський Г.М.* Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь : дис. ... канд. техн. наук / *Виговський Георгій Миколайович* ; захищена 07.11.2000. – К., 2000. – 161 с. – С. 153–161.
52. *Розенберг А.М.* Силы и мощность при обработке металлов торцовыми фрезами из СТМ / *А.М. Розенберг, О.А. Розенберг* // *Сверхтвердые материалы*. – 1988. – № 1. – С. 47–54.
53. Особливості процесу торцевого Фрезерування одно- і багатоступінчастими фрезами / *П.П. Мельничук, Г.М. Виговський, О.А. Громовий* та ін. // *Вісник Сумського держ. ун-ту*. – № 15. – 2000. – С. 38–43.
54. *Бушля В.М.* Підвищення продуктивності чорнової обробки плоских поверхонь чавунних деталей торцевими фрезами з надтвердих матеріалів : автореф. дис. ... канд. техн. наук / *В.М. Бушля* ; Нац. техн. ун-т України "КПІ". – К., 2007. – 20 с.
55. *Мельничук П.П.* Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 / *Мельничук Петро Петрович* ; Нац. техн. ун-т України "КПІ" ; Житомир інженер.-технол. ін-т. – К., 2002. – 36 с.

**ВИГОВСЬКИЙ** Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, професор кафедри технологій машинобудування, проректор з науково-педагогічної роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

**ГРОМОВИЙ** Олексій Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування, декан факультету інженерної механіки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

**КИРИЛОВИЧ** Валерій Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- автоматизований синтез роботизованих механоскладальних технологій машино- та приладобудування;
- автоматизація технологічної підготовки машино- та приладобудування.

Стаття надійшла до редакції 14.08.2015