

НАСТРОЮВАННЯ ЗБІРНИХ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ІЗ ПОХИЛИМИ РІЗАЛЬНИМИ ВСТАВКАМИ

Орлов Роман Олександрович

аспірант

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-1464-6799

r.orlov@tmvi.sumdu.edu.ua

Кушніров Павло Васильович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-5894-538X

p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua

Думанчук Михайло Юрійович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3559-4729

mykhailo.dumanchuk@snau.edu.ua

Динник Оксана Дмитрівна

кандидат технічних наук, доцент

Класичний фаховий коледж Сумського державного університету, м. Конотоп, Сумська обл., Україна

ORCID: 0000-0002-1221-2065

odkonotop39@gmail.com

Приходько Олександр Миколайович

завідувач відділення

Класичний фаховий коледж Сумського державного університету, м. Конотоп, Сумська обл., Україна

ORCID: 0000-0001-8523-185X

o.prykhodko@tmvi.sumdu.edu.ua

Басов Андрій Сергійович

студент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0009-0001-6606-1450

basyanay2003@gmail.com

В статті розглядаються проблеми підвищення ефективності настроювання збірних торцевих фрез, що містять похилі циліндричні різальні вставки. Обертання навколо власної осі є головним рухом різання при роботі торцевої фрези. При обертанні фрези відцентрові сили намагаються висунути різальні вставки з установчих отворів корпусу інструмента. Проведено дослідження впливу кількості обертів фрези на величину відцентрової сили, що виникає при обертанні. Оскільки фреза оснащена різальними вставками з надтвердим матеріалом, то можливі частоти обертань шпинделя під час роботи фрези знаходяться в діапазоні від 850 до 2200 об/хв, або (14 – 37) об/с. В результаті було побудовано діаграми шуканих залежностей для торцевої фрези діаметром 315 мм, що містить 48 циліндричних різальних вставок та які мають діаметр циліндричної частини $D=8$ мм, $D=10$ мм та $D=12$ мм, а також довжину $L=22$ мм, $L=35$ мм та $L=45$ мм. Найбільшого значення (397 Н) відцентрові сили досягають при 37 об/с для різальної вставки, що має $D=12$ мм та $L=45$ мм. Найменші значення (89 Н) – для вставки $D=8$ мм, $L=22$ мм.

Відцентрові сили також можна використовувати для настроювання величини виступання різальних елементів над корпусом інструмента. Це можна реалізувати як для розточувальних оправок з одним різцем, так і для багатолезового металорізального інструменту, наприклад, одно- та багатоступінчастих збірних торцевих фрез. При цьому для настроювання торцевої фрези відцентровими силами достатньо використовувати оберти шпинделя набагато менші, ніж робочі, що є необхідним для подолання сил тертя між різальними вставками та отворами корпусу фрези. Тому відцентрові сили теж матимуть менші значення, ніж знайдені для процесу фрезерування інструментом.

Запропоновано спосіб настроювання багатоступінчастої збірної торцевої фрези з похилими різальними вставками, який дозволяє враховувати особливості функціонального призначення різних ступенів фрези. Східчасті ступені на внутрішній поверхні калібру-кільця дозволяють настроювати різальні вставки кожного ступеня

на свій розмір, чим забезпечується сходиноподібний розподіл загального припуску на обробку. Настроювання в осьовому напрямку різальних вставок чистового ступеня дозволяє зменшити торцеве биття ріжучих кромки, чим підвищується якість обробленої фрезою поверхні шляхом покращення чистоти обробки. Настроювання ж різальних вставок чорнових ступенів у радіальному напрямку дозволяє зменшити радіальне биття ріжучих кромки, що забезпечує їх рівномірне зношування та збільшує довговічність різальних вставок. Також запропонований спосіб дозволяє скоротити час настроювання торцевої фрези, що містить велику кількість різальних вставок.

Ключові слова: збірна торцева фреза, циліндричні різальні вставки, відцентрова сила, багатоступінчаста фреза, настроювання, калібр–кільце.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.1.8>

Вступ. Торцевим фрезеруванням на промислових підприємствах обробляють площини заготовок. Існує велика кількість різноманітних конструкцій торцевих фрез та різних способів настроювання ріжучих елементів торцевих фрез. Проте відсоток сучасних якісних інструментів на виробництві зараз є замалим. Саме тому існує необхідність підвищення якості інструменту шляхом впровадження нових схем різання, продуктивних та точних способів настроювання на розмір.

Торцеві фрези здебільшого виготовляються збірними, де в корпусі інструмента різними методами закріплюють ріжучі елементи – ножі, пластини, касети або вставки. Широкого поширення здобули торцеві фрези, де змінними є тільки багатогранні різальні пластини, що встановлюються в кріпильні місця в корпусі інструмента. Головним рухом різання при роботі торцевої фрези є обертання навколо власної осі. Тому фреза разом зі складовими її елементами, як і будь-яке тіло що обертається, в процесі обертання відчуває вплив відцентрових сил. Разом зі збурюючими силами, що діють на різальні елементи фрез при торцевому фрезеруванні (сили різання, вібрації, ударні навантаження при обробленні переривчастих поверхонь та ін.), відцентрові сили мають досить великий вплив на точність та якість роботи інструменту. Проведемо аналіз основних досліджень та публікацій з цієї тематики.

Різнманітні конструкції обертового інструменту, зокрема торцевих фрез, досить широко засвідчено в каталогах різних виробників, наприклад, фірм «Walter», «Sandvik Coromant» (Walter Prototyp, 2022; Sandvik Coromant, 2020). Також інформацію по різновидам інструменту та способам його настроювання знаходимо у вітчизняних та закордонних публікаціях. Наприклад, в дослідженні (Hromovyi et al., 2009) розглянуто перспективні напрями створення нових конструкцій торцевих фрез, що використовують складні формоутворюючі рухи. Це стає можливим при використанні запропонованих комбінованих схем обробки поверхонь і удосконалення геометрії різальної частини торцевих фрез. В роботі (Vyhovskiy et al., 2021) розглянуто особливості процесу фінішної обробки площин заготовок малої ширини, що виготовлені з матеріалів високої твердості. Показано, що торцеві фрези, оснащені надтвердими матеріалами, розкривають свій потенціал при високошвидкісному обробленні, оскільки нераціональні занижені режими різання зменшують продуктивність обробки і період стійкості інструментів. В технічному рішенні (Vyhovskiy & Hromovyi, 2020) запропоновано закріплення різальних елементів

у рухомих елементах, що встановлені в радіальних отворах корпусу фрези. Це дозволяє здійснювати настроювання величини осьового вильоту різальних елементів для перерозподілу припуску. Досягнуто повної участі всіх різальних елементів у різанні, а також підвищення стійкості багатоступінчастих торцевих фрез.

Пристрій згідно з авторським свідоцтвом 1386456 (Basov et al., 2024) містить базуючу оправку з нерухомим встановлювальним стаканом, а також елементи кріплення фрези, гофровану втулку та рухомий фланець. Закріплену на оправці фрезу встановлюють в конічний отвір електрошпинделя і вмикають привід обертального руху. Під дією відцентрових сил різці притискаються до внутрішньої поверхні гофрованої втулки. Зміна внутрішнього діаметра гофрованої втулки здійснюється за рахунок осьового переміщення притискного фланця. Пристрій знижує трудомісткість настроювання та підвищує точність установа різців. Також відцентрові сили, наприклад, використовують при віброабразивному обробленні: відносно переміщення заготовок й робочого середовища відбувається під дією відцентрових сил, що значно перевищують силу ваги. При цьому зношування та міцність наповнювача лімітують подальше збільшення величини відцентрових сил (Dzhemelinskiy & Lesyk, 2017).

Підвищення надійності та стійкості обертового різального інструменту для обробки гірських порід розглянуто в джерелі (Zhang et al., 2024). Настроювання збірного інструменту з урахуванням глибини різання та відстані між конічними різцями дозволяє знизити зношування різців, а також підвищити експлуатаційну надійність виробу. Настроювання обертового інструменту для хонінгування досліджено в роботі (Kwak et al., 2024). Показано, що підвищення продуктивності інструменту можливе шляхом регулювання радіуса різальної кромки. Запропоновано також спосіб настроювання різця–вставки поза розточувальної оправки (Bullard, 1975), при якому різець–вставку встановлюють на площину контрольного пристрою, інструментом вимірюють відстань в лінійному напрямку від вершини різальної пластини до опорної площини різця–вставки і закріплюють. Проте цей спосіб не забезпечує точності отворів, що розточуються, через нестійке положення різця на контрольному пристрої та через можливості перекосу п'яти індикатора вимірюваного інструменту. В дослідженні (Chen et al., 2024) розглянуто настроювання динамічної системи при фрезеруванні, а також вплив системи верстата та вібрації інструменту під час

процесу обробки при моделюванні сил різання. Аналіз впливу фактора структури інструменту, кута нахилу заготовки, орієнтації різання та параметрів різання на силу різання здійснено в дослідженні (Fan et al., 2024). Також розглянуто настроювання параметрів різання перед обробкою поверхні для оптимізації параметрів інструменту при кінцевій обробці складної поверхні.

Деякі конструкції збірних торцевих фрез містять ножі, що виконані у вигляді циліндричних різальних вставок, які встановлені в отворах–гніздах корпусу інструменту. Аналіз цих конструкцій торцевих фрез з їх недоліками та перевагами наведено в публікації (Kushnirov et al., 2021). Настроювання формоутворюючих елементів багатолезового торцевого інструмента наведено в публікації (Melnychuk et al., 2013). Пристрій для регулювання вильотів ножів фрез застосовано при налагодженні торцевих фрез, де відбувається замикання електричного ланцюга.

Розглянувши існуючі конструкції торцевих фрез та різні способи настроювання їх різальних елементів на розмір, можна зробити висновок, що досить перспективними з точки зору конструктивного виконання та технологічності виготовлення є фрези з циліндричними різальними вставками; також, вдосконалення способів настроювання цих фрез на сьогодні є актуальним завданням досліджень.

Метою дослідження є підвищення ефективності настроювання збірних торцевих фрез, що містять циліндричні різальні вставки.

Матеріали і методи досліджень. В запланованому дослідженні використаємо такі методи: теоретичний аналіз способів настроювання різальних елементів збірних торцевих фрез; систематизація, узагальнення інформації; пошукове проектування, синтез нових способів настроювання інструмента; комп'ютерне моделювання.

Відцентрові сили, що діють під час обертання металорізального інструменту, можна використовувати для настроювання величини так званого «вильоту» різальних вставок (величини виступання над корпусом інструменту). Наприклад, згідно з (Basov et al., 2024) такий спосіб задіяно для настроювання розточувальної борштанги з циліндричним різцем. Процес настроювання здійснюється наступним чином. Борштангу з незакріпленим різцем встановлюють у співвісно розташоване з нею калібр–кільце. Борштангу і калібр–кільце починають обертати (в робочому або ж – у реверсивному напрямку) до виходу різця під дією відцентрової сили і дотику його до налагоджувальної поверхні. Після цього різець фіксують у борштанзі тягою. Таким чином, настроювання різця здійснюється на розмір, що дорівнює внутрішньому діаметру калібру–кільця.

Аналогічно можна здійснювати настроювання багатолезового металорізального інструменту, наприклад, одноступінчастих збірних торцевих фрез (Kushnirov et al., 2019). Фреза містить корпус, в отворах якого встановлені циліндричні різальні вставки, що закріплюють торцями гвинтів (рис. 1).

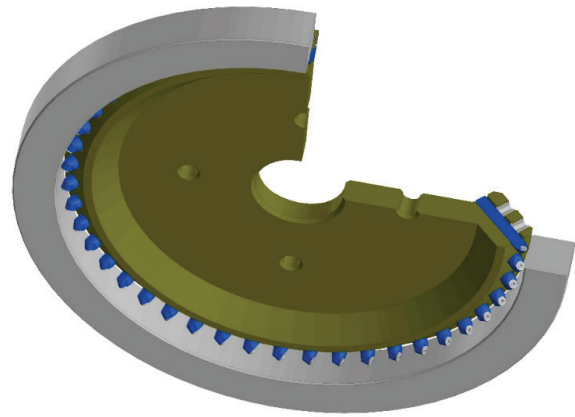


Рис. 1. Настроювання відцентровими силами різальних вставок збірної торцевої фрези, що встановлена співвісно з калібром–кільцем

Для гарантованого висунування різальних вставок з корпусу інструменту, кут нахилу осей отворів під циліндричні різальні вставки до осі обертання інструменту визначають величиною, що перевищує арктангенс коефіцієнта тертя контактуючих поверхонь та не перевищує 90 градусів (Orlov et al., 2024). Це дозволяє зменшити трудомісткість настроювання ріжучого інструменту, оскільки при цьому забезпечується відсутність ефекту самогальмування різальних вставок в корпусі інструменту та гарантується можливість самовисунування різальних вставок з корпусу від дії відцентрових даламберових сил інерції, що виникають під час обертання інструменту.

Результати досліджень. Проаналізуємо величини відцентрових сил, що діють на різальні вставки при обертанні збірної одноступінчастої торцевої фрези з ріжучими ножами у вигляді циліндричних різальних вставок.

Під час обертання фрези на різальні вставки діють відцентрові сили, які намагаються висунути ці вставки назовні. Для фрези діаметром 315 мм, оснащеної різальними вставками з надтвердими матеріалами, було проведено дослідження впливу кількості обертів на величину відцентрової сили, що виникає при обертанні (Hrytsenko et al., 2024). При обертанні торцевої фрези відцентрові сили намагатимуться висунути різальні вставки з установчих отворів. Величину відцентрової сили можна знайти із відомих залежностей динаміки обертального руху (Kushnirov et al., 2018).

Запропонована одноступінчаста торцева фреза діаметром 315 мм містить 48 циліндричних різальних вставок, що можуть мати різний діаметр циліндричної частини: $D=8$ мм, $D=10$ мм та $D=12$ мм. Також може бути різною довжина тіла L різальної вставки: 22 мм, 35 мм, 45 мм. Більш високі значення діаметрів рекомендується використовувати при більш значних силових навантаженнях при фрезеруванні (наприклад, значні глибини різання або подачі). Відповідно, значення діаметра 8 мм, що є найменшим, рекомендується використовувати при невеликих глибинах різання та подачах. Масу різальних вставок, оснащених надтвердим матеріалом композит 10, для різних типорозмірів наведено в таблиці 1.

Маса різальної вставки (кг) в залежності від діаметра D та довжини L

		D, мм		
		8	10	12
L, мм	22	0,009	0,014	0,020
	35	0,014	0,022	0,031
	45	0,018	0,028	0,040

В залежності від характеристик оброблюваного матеріалу торцева збірна фреза може працювати з частотами обертань шпинделя в діапазоні від 850 до 2200 об/хв. Це відповідає величинам частот обертання (14 – 37) об/с. Побудуємо діаграми залежності величин відцентрових сил F від кількості обертів фрези (рис. 2) під час процесу фрезерування інструментом. Величина відцентрової сили залежить від діаметра та довжини різальної вставки, що в свою чергу впливає на масу вставки.

Як видно з наведених діаграм, відцентрові сили F досягають найбільших значень при 37 об/с:

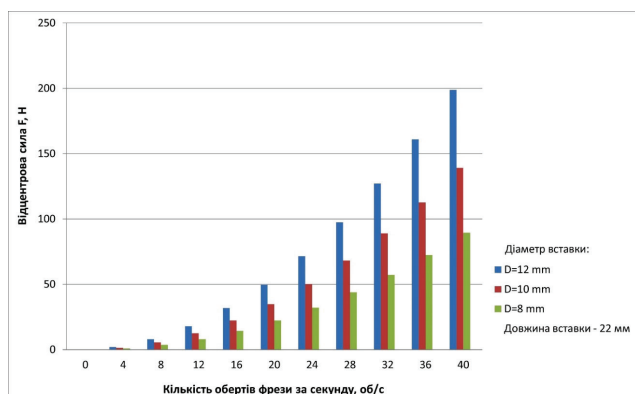
- 198 Н для різальної вставки $D=12$ мм, $L= 22$ мм (рис. 1, а);
- 308 Н для різальної вставки $D=12$ мм, $L= 35$ мм (рис. 1, б);
- 397 Н для різальної вставки $D=12$ мм, $L= 45$ мм (рис. 1, в).

Відзначаємо, що при 37 об/с для інших діаметрів різальних вставок найбільші величини аналізованих відцентрових сил знаходяться в діапазонах:

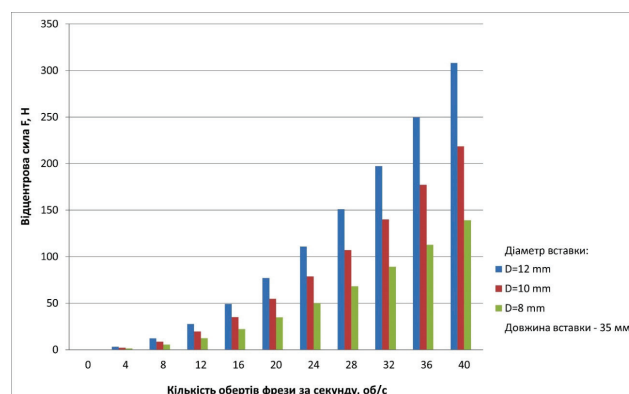
- до 278 Н для різальної вставки $D=10$ мм, $L= 45$ мм;
- до 179 Н для різальної вставки $D=8$ мм, $L= 45$ мм.

Мінімальний діапазон: до 89 Н для вставки $D=8$ мм, $L= 22$ мм.

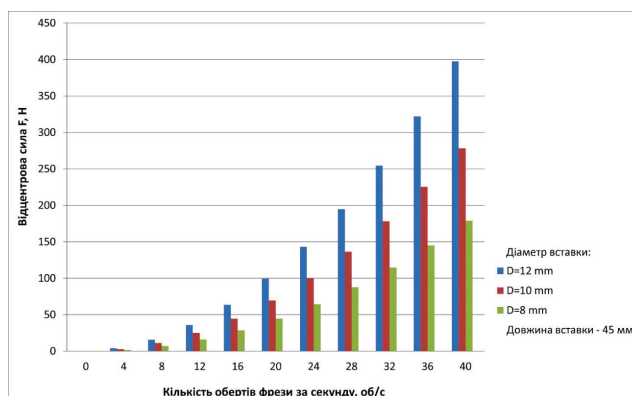
Отримані значення свідчать про те, що на циліндричну різальну вставку при обертанні торцевої фрези під час її роботи діють досить значні відцентрові сили, що прагнуть висунути різальну вставку з корпусу інструмента. Проте не обов'язково для здійснення настроювання фрези за допомогою відцентрових сил використовувати наведені великі значення обертів шпинделя (14 – 37) об/с. Достатньо застосувати набагато менші значення (до 4 об/с), щоб були подолані сили тертя, які діють між різальними вставками та отворами корпусу фрези. Відповідно, і відцентрові сили матимуть набагато



а)



б)



в)

Рис. 2. Діаграми залежності величин відцентрових сил (F), що діють на різальні вставки різних діаметрів (D), від кількості обертів торцевої фрези при довжині вставки $L= 22$ мм (а), $L= 35$ мм (б) та $L= 45$ мм (в)

менші значення, ніж знайдені для фрезерування інструментом, а саме – менше 20 Н.

Обговорення. В збірній торцевій фрези (Kushnirov et al., 2024) осі отворів під циліндричні різальні вставки виконані похилими відносно осі фрези. Тому при висуванні різальних вставок вони переміщуються одночасно у двох напрямках – радіальному та осьовому. На жаль, відсутні рекомендації, в якому напрямку краще наструювати різальні вставки (у радіальному напрямку або ж – в осьовому), а також яким чином скоротити час наструювання великої кількості ріжучих елементів. Крім того, у найбільш загальному випадку, фреза може мати і багатоступінчасту конструкцію – для зняття підвищеного припуску, тобто містити два і більше ступенів розташування різальних вставок (рис. 3).

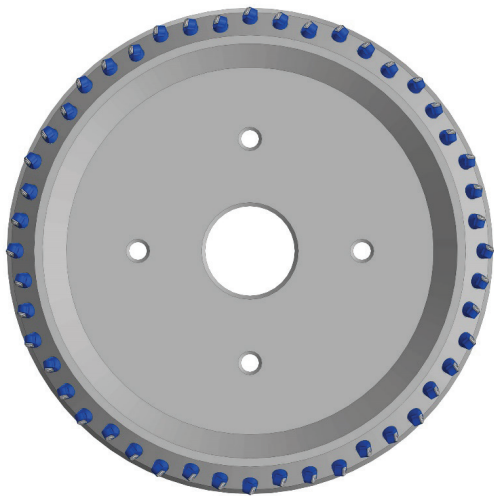


Рис. 3. Триступінчаста збірна торцева фреза діаметром 315 мм з похилими циліндричними різальними вставками (3D-модель)

Тоді різальні вставки необхідно наструювати в кожному ступені на свій певний діаметр фрезерування та на свою конкретну глибину різання, що також ускладнює наструювання. З цього приводу було запропоновано вдосконалений спосіб наструювання багатоступінчастої збірної торцевої фрези з похилими різальними вставками, який дозволяє враховувати особливості функціонального призначення різних ступенів фрези, а саме мінімізувати торцеве биття ріжучих кромek першого (чистового) ступеня, а також мінімізувати радіальне биття ріжучих кромek усіх наступних (чорнових) ступенів, що забезпечує підвищення якості обробленої фрезою поверхні та збільшує довговічність різальних вставок інструменту. Для цього в отвори 2 корпусу 1 торцевої фрези під кутом α до осі фрези встановлюють циліндричні різальні вставки 3 (рис. 4, 5), злегка їх закріпивши по плоским лискам 4 одним з гвинтів 5 або 6.

Далі фрезу встановлюють у співвісно розташоване з нею калібр-кільце 7 (кріплення останнього умовно не показано), та різальні вставки 3 розкріплюють. При цьому між плоскою лискою 4 різальної вставки 3 і робочими торцями кріпильних гвинтів 5 та 6 залишають невеликий зазор для забезпечення можливості безперешкодного

переміщення різальної вставки 3 вздовж осі отвору 2. Вмикають звичайне або реверсивне обертання торцевої фрези (або спільне обертання фрези та калібру-кільця). Під дією відцентрових сил різальні вставки 3 висуваються з отворів 2 і торкаються наструювальних поверхонь калібру-кільця 7, а саме:

- різальні вставки першого (чистового) ступеня налаштовуються в осьовому напрямку по торцю (I) калібру-кільця 7, чим забезпечується діаметр D_1 наструювання та, відповідно, діаметр фрезерування заготовки налаштованим інструментом;

- різальні вставки другого, третього та, якщо такі є, всіх наступних (чорнових) ступенів налаштовуються у радіальному напрямку по внутрішнім радіальним поверхням (II, III і т.д) калібру-кільця 7, чим забезпечуються діаметри наструювання D_2, D_3, \dots, D_i та відповідні діаметри фрезерування налаштованим інструментом.

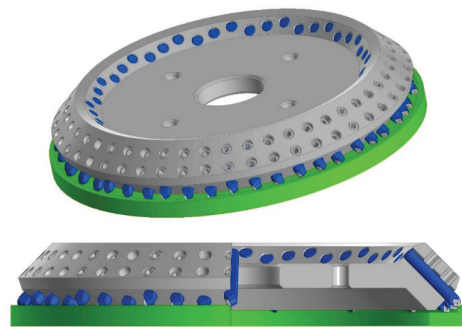


Рис. 4. 3D-модель наструюваної триступінчастої торцевої фрези та наструювального калібру-кільця

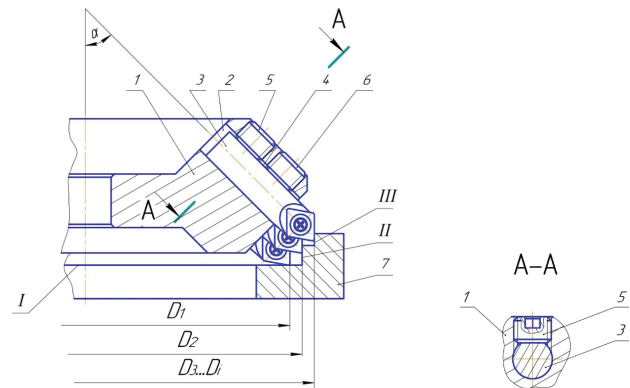


Рис. 5. Осьовий переріз наструюваної торцевої фрези та наструювального калібру-кільця

Для забезпечення вищевказаного наструювання ступенів фрези, на внутрішній радіальній поверхні калібру-кільця 7 виконують східчасті наструювальні ступені (II, III і т.д) в кількості, що відповідає кількості чорнових ступенів фрези. Це формує ступінчастий сходиноподібний розподіл припуску на обробку: загальна глибина різання фрезою дорівнюватиме сумі глибин різання кожним ступенем.

Після того, як усі різальні вставки 3 під дією відцентрових сил висунулися до контакту з наструювальними поверхнями калібру-кільця 7, обертання фрези припиняють, і різальні вставки 3 по плоским лискам 4 фіксують в корпусі 1 за допомогою кріпильних гвинтів 5 та 6.

Висновки. В результаті проведених досліджень було визначено залежності величин відцентрових сил, які діють на циліндричні різальні вставки різних діаметрів та різної довжини, від кількості обертів фрези Ø315 мм. Найбільших значень (397 Н) відцентрові сили досягають при 37 об/с для різальної вставки $D=12$ мм, $L=45$ мм. Найменші значення (89 Н) – для вставки $D=8$ мм, $L=22$ мм.

Для настроювання фрези відцентровими силами достатньо використовувати оберти шпинделя набагато менші, ніж робочі, а саме – до 4 об/с, необхідні для подолання сил тертя між різальними вставками та отворами корпусу фрези. Як результат, відцентрові сили теж матимуть менші значення (менше 20 Н), ніж знайдені для процесу фрезерування інструментом.

Наявність на внутрішній поверхні калібру–кільця східчастих ступенів дозволяє настроювати різальні вставки

кожного ступеня на свій розмір, що забезпечує сходинко-подібний розподіл загального припуску на обробку.

Настроювання в осьовому (торцевому) напрямку різальних вставок першого (чистового) ступеня дозволяє зменшити торцеве биття ріжучих кромок чистового ступеня, чим підвищується якість обробленої фрезою поверхні шляхом покращення чистоти обробки (шорсткості поверхні).

Настроювання різальних вставок всіх наступних (чорнових) ступенів у радіальному напрямку дозволяє зменшити радіальне биття ріжучих кромок, що забезпечує їх рівномірне зношування та збільшує довговічність різальних вставок цих ступенів, та, як результат, підвищує період працездатності вставок та всього інструмента загалом.

Запропонований спосіб настроювання торцевої фрези, що містить велику кількість різальних вставок, дозволяє скоротити час настроювання.

Бібліографічні посилання:

1. Basov, A. S., Orlov, R. O., Kushnirov, P. V., & Dynnyk, O. D. (2024). Nastroiuvannia na rozmir obertovoho zbirnogo rizhuchoho instrumentu [Adjusting to the size of the rotating prefabricated cutting tool]. In: *Promising areas of theoretical and applied research '2024. ProConference in conjunction with KindleDP*, 3–10. <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2024-27-00-013> (in Ukrainian).
2. Bullard, E. P. (1975). Preset Tooling. *US Patent No. 3518769*, B27g 23/00, U.S. Cl. 33–185.
3. Chen, X., Wang, Q., Chen, W., Sun, J., He, Y., & Guo, H. (2024). Mining method for cutting force coefficient with the impact of tool vibration and machine tool system. *Advances in Mechanical Engineering*, 16(12), 1–9. <https://doi.org/10.1177/16878132241308932>
4. Dzhemelinskyi, V. V., & Lesyk, D. A. (2017). Osnovy profesiinoi diialnosti [Basics of professional activity]. *KPI*, Kyi'v, 177 (in Ukrainian).
5. Fan, M., Bi, Ch., Liu, X., Yue, C., & Hu, D. (2024). Effects of tool structure factor, cutting orientations, and cutting parameters of double-arc milling cutter on cutting force. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 134(9–10):4701–4716. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14375-0>
6. Hlembotska, L., Balytska, N., Melnychuk, P., & Melnyk O. (2019). Computer modelling of power load of face mills with cylindrical rake face of inserts in machining difficult-to-cut materials. *Scientific Journal of TNTU*, 93(1), 70–80. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.01.070
7. Hlembotska, L., Balytska, N., Melnychuk, P., & Vyhovskyi, H. (2021). Structural improvement of face mills designs based on systems approach. *Scientific Journal of TNTU*, 101(1), 102–114. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.01.102
8. Hromovyi, O. A., Vyhovskyi, H. M., & Balytska, N. O. (2020). Shliakhy udoskonalennia protsesu obrobky ploskykh poverkhon detalei frezeruvanniam [Ways of improving the process of machining flat surfaces of parts by milling]. *Technical engineering*, 2(86), 48–53. [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-48-53](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-48-53) (in Ukrainian).
9. Hrytsenko, O. O., Basov, A. S., Orlov, R. O., & Kushnirov, P. V. (2024). Doslidzhennia zalezhnosti vidtsentrovyykh syl vid kilkosty obertiv frezy [Study of the dependence of centrifugal forces on the number of revolutions of the milling cutter]. In: *New and unconventional technologies in resource and energy conservation – Odesa National Maritime University*, 21 (in Ukrainian).
10. Kushnirov, P. V., Dehtiarov, I. M., Yevtukhov, A. V., Rudenko, O. B., & Dumanchuk, M. Iu. (2019). Zbirni tortsevi frezy z rehulovanyu rzhuchymy vstavkamy [Prefabricated face mills with adjustable cutting inserts]. *Compressor and power engineering*, 4(58), 6–9 (in Ukrainian).
11. Kushnirov, P. V., Ivchenko, O. V., Ivanov, V. O., Neshta, A. O., Zhyhylii, D. O., Yevtukhov, A. V., Dehtiarov, I. M., Orlov, R. O., Dynnyk, O. D., Skabenok, M. M., & Kuiavinska, A. (2024). Tortseva freza z pidvyshchenym samohalmutuvanniam tsylindrychnykh rizalnykh vstavok [Face mill with increased self-locking of cylindrical cutting inserts]. *Patent of Ukraine No. 156499* (in Ukrainian).
12. Kushnirov, P. V., Stupin, B. A., Ostapenko, B. A., & Kasian, D. I. (2021). Analiz konstruksii tortsevykh frez, shcho mistiat tsylindrychni rzhuchi vstavkyu [Analysis of Designs of Face Milling Cutters Containing Cylindrical Cutting Inserts]. In: *International scientific integration '2021. «ISE&E» & SWorld in conjunction with KindleDP*, 8, 6–9. <https://doi.org/10.30888/2709-2267.2021-8> (in Ukrainian).
13. Kushnirov, P. V., Yevtukhov, A. V., Stupin, B. A., & Rudenko, O. B. (2018). Shliakhy zapobihannia vypadanniu rizalnoi vstavky z korpusu zbirnoi tortsevoi frezy [Ways to prevent the cutting insert falling out from the body of prefabricated face milling cutter]. *Compressor and power engineering*, 3(53), 9–13 (in Ukrainian).
14. Kwak, Y. I., Bae, Y., Kurniawan, R., Jiellin, Ch., Xu, M., Ali, S., & Ko, T. J. (2024). Influence of cutting-edge radius by an edge-honing process on the cutting tool life and coating. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 38(2). <https://doi.org/10.1007/s12206-024-0930-2>
15. Melnychuk, P. P., Loiev, V. Iu., & Bohaichuk, O. M. (2013). Prystrii dlia rehuliuвання vylotiv formoutvoriuiuchykh elementiv bahatolezovoho tortsevoho instrumenta [Device for adjusting the protrusions of the forming elements of a multi-blade end tool]. *Patent of Ukraine No. 101774* (in Ukrainian).

16. Orlov, R. O., Kushnirov, P. V., & Basov, A. S. (2024). Nastroiuvannia rizhuchoho instrumentu vidtsentrovymy sylamy [Adjusting cutting tools by centrifugal forces]. In: *Innovative technologies in Industry 5.0 – Sumy National Agrarian University*, 14–15 (in Ukrainian).
17. Sandvik Coromant (2020) / Rotating tools – Milling, drilling, boring, tooling. – Sandvik Coromant catalog.
18. Vyhovskiy, H. M., & Hromovyi, O. A. (2020). Tortseva stupinchasta freza [Step–face mill]. *Patent of Ukraine No. 140530* (in Ukrainian).
19. Vyhovskiy, H. M., Hromovyi, O. A., Balytska, N. O., & Hlembotska, L. Ie. (2021). Udoskonalennia protsesu chystovoho tortsevoho frezeruvannia ploskykh poverkhon detalei maloi shyryny [Improvement of the process of finishing face milling of flat surfaces of small–width parts]. *Technical engineering*, 1(87), 13–20. [https://doi.org/10.26642/ten-2021-1\(87\)-13-20](https://doi.org/10.26642/ten-2021-1(87)-13-20) (in Ukrainian).
20. Walter Prototyp (2022) Milling Tools for milling. – Catalog Walter, 288 p.
21. Zhang, X., Li, J., Li, X., & Li, Q. (2024). Cutting Characteristics and Reliability Analysis of Conical Picks Containing Prefabricated Grooved Rocks. *Eksploatacja i Niezawodnosc –Maintenance and Reliability*, 26(4). <https://doi.org/10.17531/ein/191694>

Orlov R. O., Postgraduate, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Kushnirov P. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Dumanchuk M. Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Dynnyk O. D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Classical Professional College of Sumy State University, Konotop, Ukraine

Prykhodko O. M., Department head, Classical Professional College of Sumy State University, Konotop, Sumy region, Ukraine

Basov A. S., Student, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Adjusting of prefabricated face mills with inclined cutting inserts

The article deals with the problems of increasing the efficiency of adjustment prefabricated face mills containing inclined cylindrical cutting inserts. Rotation around its own axis is the main cutting motion during the operation of the face mill. When the mill rotates, centrifugal forces try to push the cutting inserts out of the mounting holes of the tool body. The influence of the number of revolutions of the mill on the magnitude of the centrifugal force that occurs during rotation is studied. Since the mill is equipped with cutting inserts with superhard material, the possible spindle rotation speeds during the operation of the mill are in the range from 850 to 2200 rpm, or (14 – 37) revolutions per second. As a result, diagrams of the desired dependencies were constructed for the face mill with a diameter of 315 mm, containing 48 cylindrical cutting inserts and having a cylindrical part diameter of $D=8$ mm, $D=10$ mm and $D=12$ mm, as well as a length of $L=22$ mm, $L=35$ mm and $L=45$ mm. The highest value (397 N) of centrifugal forces is reached at 37 revolutions per second for a cutting insert with $D=12$ mm and $L=45$ mm. The lowest values (89 N) are for an insert with $D=8$ mm, $L=22$ mm.

Centrifugal forces can also be used to adjust the amount of protrusion of the cutting elements above the tool body. This can be implemented both for boring bars with a single cutter and for multi–blade metal–cutting tools, for example, single– and multi–stage prefabricated face mills. In this case, to adjust the face mill by centrifugal forces, it is enough to use spindle speeds much lower than the working ones, which is necessary to overcome the friction forces between the cutting inserts and the holes in the cutter body. Therefore, centrifugal forces will also have lower values than those found for the milling process by the tool.

A method for adjusting a multi–stage face milling cutter with inclined cutting inserts is proposed, which allows taking into account the features of the functional purpose of different stages of the cutter. Steps on the inner surface of the ring gauge allow adjusting the cutting inserts of each stage to its size, which ensures a stepped distribution of the total machining allowance. Adjusting the cutting inserts of the finishing stage in the axial direction allows reducing the end runout of the cutting edges, which increases the quality of the surface machined with the milling cutter by improving the cleanliness of the machining. Adjusting the cutting inserts of the roughing stages in the radial direction allows reducing the radial runout of the cutting edges, which ensures their uniform wear and increases the durability of the cutting inserts. The proposed method also allows reducing the time for adjusting the face milling cutter containing a large number of cutting inserts.

Key words: prefabricated face mill, cylindrical cutting inserts, centrifugal force, multi–stage milling cutter, adjustment, ring gauge.