

Г.М. Виговський, к.т.н., проф.  
М.М. Плисак, аспірант  
Л.Є. Глембоцька, к.т.н., доц.  
А.В. Голубовський, аспірант

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## Удосконалення конструкції торцевої ступінчастої фрези для фінішної обробки плоских поверхонь деталей

*Якість оброблених поверхонь деталей залежить від кінематики процесу різання, режиму обробки, конструктивних та геометричних параметрів різального інструмента тощо. Відомі конструкції торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами, для фінішної обробки площин, визначено режими їх експлуатації та можливості забезпечення необхідної якості обробки. Застосування ступінчастих торцевих фрез, на відміну від звичайних конструкцій фрез, дозволяє забезпечити формування обробленої поверхні різальним елементом, який розміщений у радіальному напрямі на найменшій відстані від осі фрези, а в осьовому – з найбільшим вильотом відносно торця корпусу фрези. При цьому особливу увагу необхідно приділяти питанням стабілізації положення формоутворюючого різального елемента і впливу сил різання на пружний відтиск інструменту від поверхні заготовки.*

*У роботі авторами розглянуто процес торцевого ступінчастого фрезерування конструкційних матеріалів однозубою та багатозубою торцевою ступінчастою фрезою з пружним переміщенням формоутворюючого ножа та з жорстким його закріпленням. У результаті проведених досліджень удосконаленої конструкції торцевої ступінчастої фрези було встановлено, що пружне закріплення формоутворюючого різального елемента, який базується відносно нерухомо закріпленого на корпусі верстата копії, дозволяє виключити передачу деформації корпусу фрези під час різання чорновими різальними елементами. Це дозволяє стабілізувати положення формоутворюючого різального елемента та ізолювати його від впливу складової сили різання  $R_y$ , яка виникає на попередніх чорнових різальних елементах та має змінну величину на ділянках дуги контакту формоутворюючого різального елемента з заготовкою.*

*Запропоновано удосконалену конструкцію ступінчастої торцевої фрези з виконанням пружного контакту формоутворюючого різального елемента з нерухомо закріпленим на корпусі верстата копійом. Отримані результати дослідження підтверджують можливості підвищення якості шляхом розробки нових конструкцій фрез, які б забезпечували необхідні показники мікрогеометрії оброблених поверхонь.*

**Ключові слова:** торцеве фрезерування; торцева фреза; косокутне різання; ступінчасті фрези; динаміка фрезерування.

**Постановка проблеми.** Сучасні машини є складними механічними системами, які складаються з великої кількості вузлів та деталей. Для нормального їх функціонування кожна деталь повинна мати необхідну точність розмірів, геометричну форму, шорсткість та фізико-механічні властивості поверхневого шару. Використання неоптимальних технологічних процесів веде до підвищеного зносу деталей, скорочення терміну їх експлуатації та передчасного руйнування тощо.

Процес формоутворення поверхонь деталей є процесом послідовного або безперервного занурення різальної частини інструменту у матеріал заготовки та зрізання його у вигляді стружки. Форма обробленої поверхні деталі зумовлюється формою та геометричними параметрами різальних кромки інструменту та відносними рухами інструмента і заготовки. Розглянутий процес формоутворення обробленої поверхні деталі ускладнюється супутніми явищами: деформаціями заготовки, інструменту та елементів верстата. Величина цих деформацій залежить від просторової жорсткості пружної технологічної системи, тобто від форми та розмірів заготовки, деталі, конструкції інструменту та верстата. Водночас, потрібно також враховувати вплив точності виготовлення та встановлення інструмента на верстаті, похибки базування та закріплення заготовок, точність вимірювань у процесі обробки, налаштування на розмір тощо [1–3].

Виконані експериментальні дослідження виявили високу ефективність застосування фрез діаметром від 125 до 500 мм при обробці чавунів та загартованих сталей, які підтвердили високу продуктивність та якість обробленої поверхні [4–7]. Разом з тим подальше вдосконалення конструкцій торцевих фрез великих діаметрів потребує поглибленого вивчення динаміки процесу фрезерування. Вивчення динаміки процесу фрезерування ускладнюється тим, що металообробне обладнання належить до складних динамічних систем, основні елементи якої (верстат, різальний інструмент, заготовка) перебувають у безперервній взаємодії та взаємовпливі. Взаємодія цих елементів супроводжується дією високих

локальних температур, тисків, що є причиною інтенсивного зносу і подальшого руйнування найслабшої ланки – різального інструменту. Під час обробки різальні елементи торцевої фрези входять / виходять із зони різання та викликають нерівномірне силове навантаження на технологічну систему. Під дією цих сил виникають пружні деформації корпусу фрези, що призводить до осьових переміщень різальних елементів, що беруть участь у різанні. Це призводить до нерівномірності розподілу припуску між різальними елементами, відхилення від площинності, збільшення шорсткості обробки тощо [8–12]. Низкою досліджень [4, 13–15] підтверджено, що підвищення динамічної жорсткості системи «верстат – інструмент» дозволяє отримувати необхідні технологічні параметри обробки плоских поверхонь за точністю та іншими характеристиками якості обробки.

Таким чином, під час формування обробленої поверхні деталі основний процес не відбувається в чистому вигляді, а супроводжується різними побічними явищами, і тільки в результаті їх взаємодії визначається реальна форма деталі, що утворюється при обробці поверхні. Вивчити цей процес з урахуванням усіх одночасно діючих факторів та їхнього взаємного впливу важко. Таким чином, контроль динамічної поведінки технологічної системи та розробка інструментів для забезпечення необхідних якісних характеристик обробки є важливим і актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого і визначило напрям проведених авторами досліджень, результати яких викладено в цій статті.

**Мета** – дослідити вплив осьових складових сили різання  $P_y$  при однозубому та багатозубому фрезеруванні торцевими ступінчастими фрезами, що оснащені надтвердими матеріалами, на характер пружних відтисків формуютьрочючих різальних елементів фрез у напрямі нормальному до оброблюваної поверхні заготовки та обґрунтувати запропоновані рішення щодо удосконалення конструкцій торцевих фрез для фінішної обробки деталей.

**Постановка завдання.** Умови моделювання: косокутне торцеве фрезерування сірого чавуну СЧ21 (170НВ) та вуглецевої сталі У8 (46HRC) однозубою і багатозубою ступінчастою фрезою діаметром 360 мм з жорстким закріпленням формуютьрочючого різального елемента та спроєктованою фрезою з пружним закріпленням формуютьрочючого різального елемента (рис. 1). Розглянути конструкційні особливості фрез, оснащених різальними елементами із надтвердих матеріалів, з використанням спірально-ступінчастого розташування. Інструментальний матеріал – гексаніт-Р. Значення осьової складової сили різання  $P_y$  були виміряні під час експериментальних досліджень однозубою торцевою фрезою та виконаного порівняльного комп'ютерного моделювання [16, 17]. Отримані значення сил різання були використані для проведення розрахунку з використанням програмного забезпечення *Ansys*.

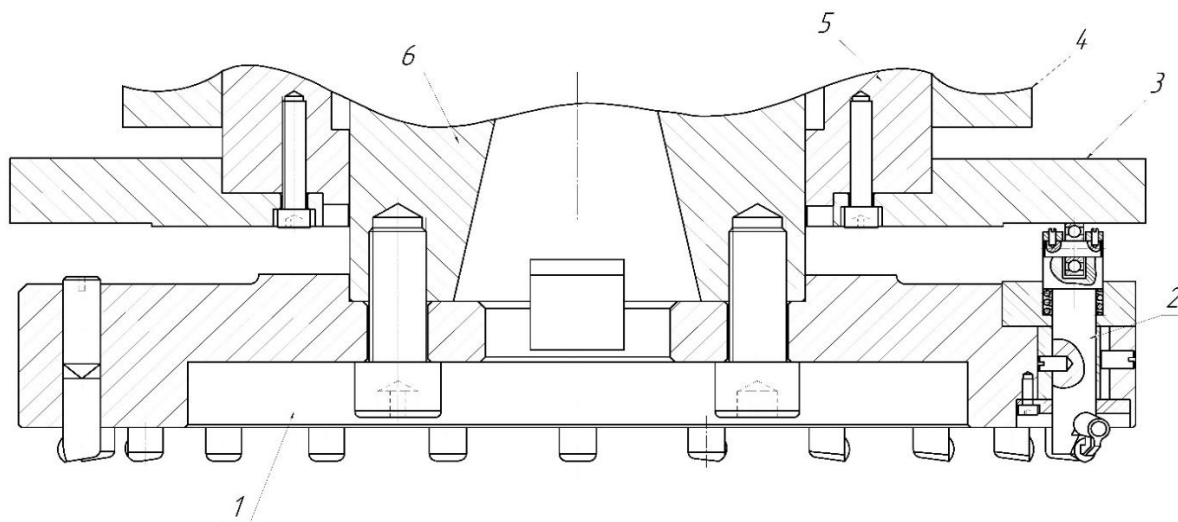


Рис. 1. Конструкція фрези з рухомих різальним елементом (1 – корпус фрези; 2 – рухомий різальний елемент; 3 – копір; 4 – верстат; 5 – нерухома частина верстата; 6 – шпindelь)

Аналіз опублікованих робіт та проведених досліджень показує, що сили різання  $P_y$ , які діють на чорнові різальні елементи, викликають деформації корпусу фрези та пружний відтиск формуютьрочючого різального елемента від поверхні заготовки. Сумарна величина відтисків залежить від значення складових сил різання  $P_y$ , які діють на чорнові різальні елементи та на чистовий формуютьрочючий різальний елемент [18, 19]. Різниця відтисків формуютьрочючого різального елемента від поверхні заготовки для процесів однозубого та багатозубого різання при обробці сірого чавуну СЧ21 (170НВ) та вуглецевої сталі У8 (46HRC) свідчать про вплив деформацій корпусу фрези під час різання чорновими різальними елементами на переміщення різального елемента, що формуютьрочює оброблену поверхню (рис. 2) [19].

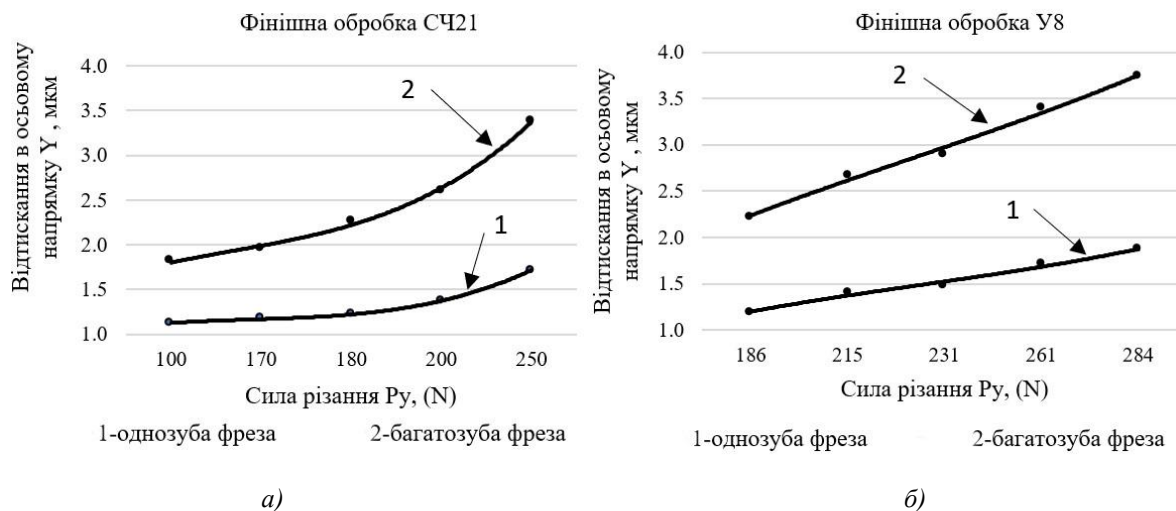


Рис. 2. Пружні відтиски [19] формоутворюючого різального елемента від оброблюваної поверхні заготовки при фінішному торцевому фрезеруванні однозубою та багатозубою фрезою: а) сірого чавуну СЧ21; б) вуглецевої сталі У8

На основі проведених досліджень було встановлено, що при багатоступінчастому торцевому фрезеруванні створення конструкції торцевої фрези з відокремленням формоутворюючого різального елемента від корпусу фрези дозволить значно зменшити вплив сили різання  $P_y$  на пружний відтиск різального елемента, що формує оброблену поверхню заготовки. При цьому створюється можливість зняття підвищених припусків чорновими різальними елементами та забезпечення стабільного положення чистового різального елемента. Конструкція фрези має передбачати жорстке закріплення чорнових різальних елементів та незалежне рухоме переміщення чистового різального елемента з базуванням відносно нерухомої частини верстата. Спроектвана конструкція дозволить: врахувати коливання сил різання під час врзання та виходу із зони різання різальних елементів; змінність сил різання за непостійними параметрами зрізу за дугою контакту при торцевому фрезеруванні; коливання ширини фрезерування при врзанні та при виході фрези із контакту із заготовкою тощо. Це дозволить забезпечити процес різання формоутворюючим різальним елементом зі стабільним припуском та ізолювати чистовий різальний елемент від підвищених деформацій корпусу фрези.

Водночас, розроблена нова конструкція торцевої ступінчастої фрези потребує подальших досліджень для кращого розуміння деформацій пружного чистового різального елемента відносно шпинделя верстата, впливу сил різання  $P_y$ , що виникають на чорнових різальних елементах та деформацій корпусу фрези. Для проведення таких досліджень було побудовано дві 3д моделі ступінчастої торцевої фрези – з жорстким закріпленням різальних елементів та спроектованої конструкції, які зображені на (рис. 1 а, б). Результати проведених досліджень наведено на рисунку 3.

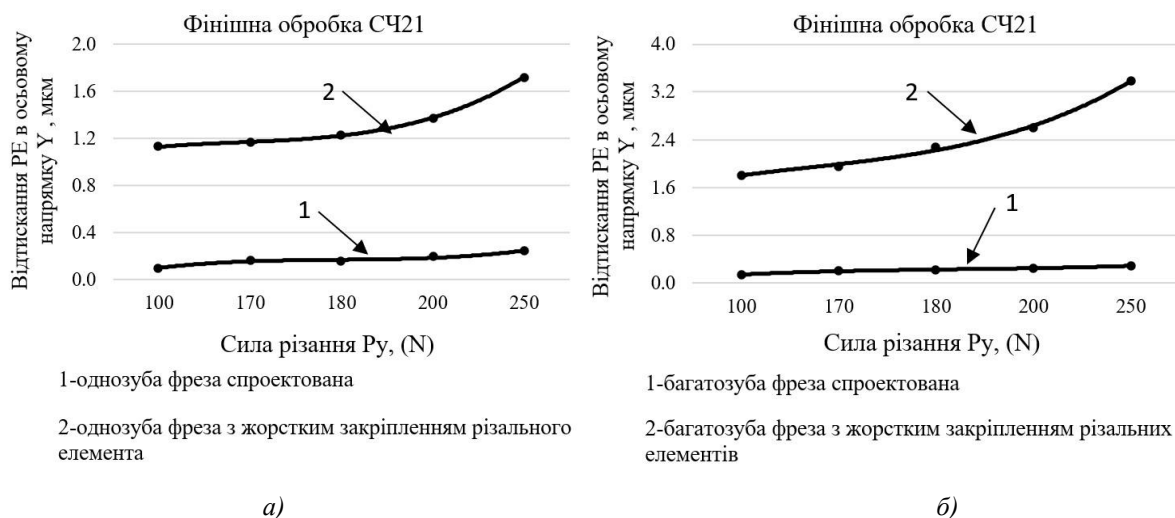


Рис. 3. Порівняння осьових відтисків формоутворюючого різального елемента для фрези з жорстким закріпленням різальних елементів та спроектованої конструкції фрези при фінішному торцевому фрезеруванні сірого чавуну СЧ21: а) однозубою фрезою; б) багатозубою фрезою

З отриманих результатів комп'ютерного моделювання процесу фрезерування однозубою та багатозубою ступінчастою фрезою (рис. 3) видно, що відтиски формоутворюючого різального елемента спроектованої фрези від оброблюваної поверхні заготовки значно менші та становлять: для однозубої 0,245 мкм, для багатозубої фрези 0,287 мкм відповідно. Аналогічні розрахунки динаміки процесу фрезерування були виконані для обробки вуглецевої сталі У8 (46HRC). Результати досліджень наведено на рисунку 4 а, б.

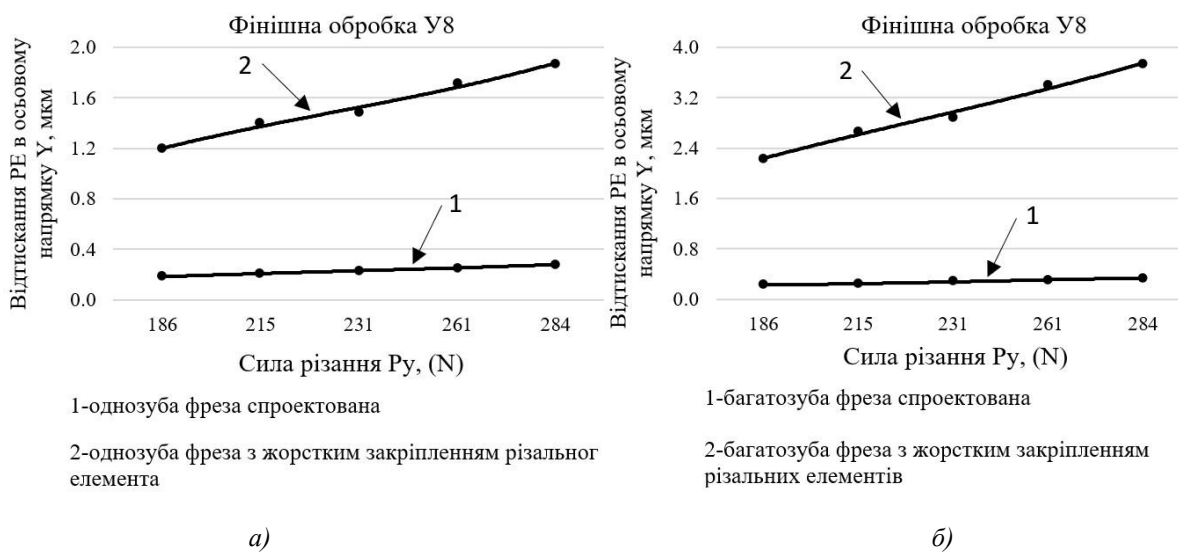


Рис. 4. Порівняння осьових відтисків формоутворюючого різального елемента для фрези з жорстким закріпленням різальних елементів та спроектованої конструкції фрези при фінішному торцевому фрезеруванні вуглецевої сталі У8 (46HRC): а) однозубою фрезою; б) багатозубою фрезою

З графіків (рис. 4 а, б) видно, що відтиски формоутворюючого різального елемента спроектованої торцевої фрези від оброблюваної поверхні заготовки значно менші та становлять: для однозубої 0,278 мкм, для багатозубої фрези 0,339 мкм відповідно. Відтиск формоутворюючого різального елемента під час багатозубого фрезерування пояснюється впливом сил різання  $P_y$ , які виникають на чорнових різальних елементах і впливають на пружний відтиск формоутворюючого різального елемента від поверхні заготовки. Виконання конструкції ступінчастої фрези з пружним формоутворюючим різальним елементом з базуванням відносно копіра, який закріплений на верстаті, дозволяє ізолювати формоутворюючий різальний елемент від підвищених деформацій корпусу торцевої ступінчастої фрези.

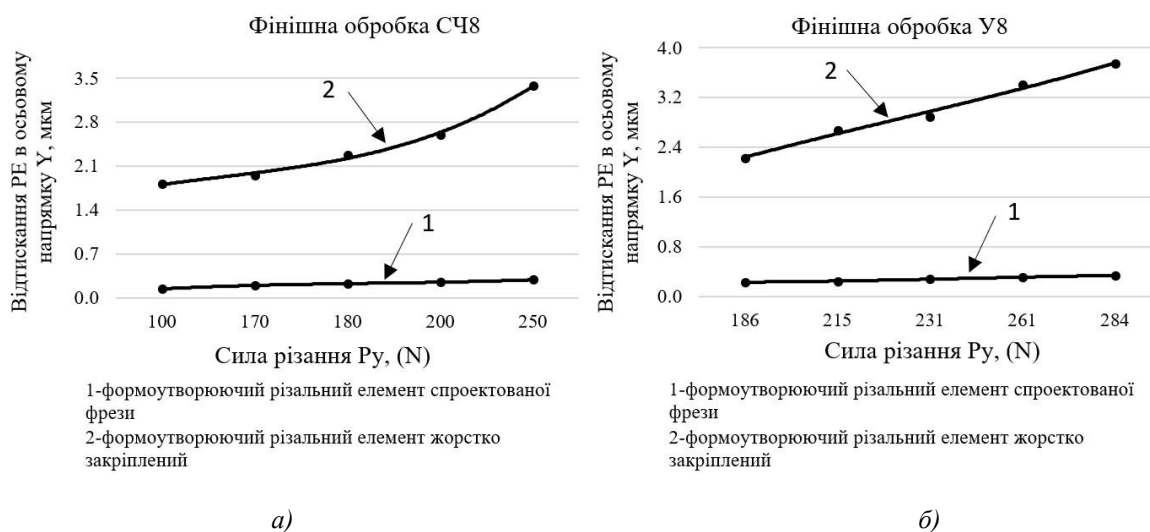


Рис. 5. Порівняння осьових відтисків формоутворюючого різального елемента для фрези з жорстким закріпленням різальних елементів та спроектованої конструкції фрези при фінішному багатозубому торцевому фрезеруванні: а) сірого чавуну СЧ21; б) вуглецевої сталі У8 (46HRC)

З графіків (рис. 5) видно, що відтискання чорнового різального елемента, що жорстко закріплений у корпусі фрези, значно більші ніж осьові деформації формуючого різального елемента, який розташований з пружним контактом з нерухомим копіром, який закріплений на корпусі верстата. Це пояснюється тим, що сили різання  $P_y$ , що виникають на чорнових різальних елементах, значною мірою впливають на стабільне положення формуючого різального елемента, відтискаючи його від оброблюваної поверхні заготовки. Величина таких відтисків залежить від значень складової сили різання  $P_y$ . Зменшення впливу сил різання  $P_y$ , що діють під час різання чорновими різальними елементами, на формуючий різальний елемент дозволяє забезпечити стабільне положення різального елемента та підвищити якість обробки.

#### Висновки:

1. Встановлено, що на стабільне положення формуючого різального елемента відносно заготовки впливають складові сили різання  $P_y$ , які виникають на чорнових різальних елементах, тим самим впливаючи на відтиск формуючого різального елемента від поверхні заготовки, що негативно позначається на якості обробки;

2. Виконання пружного контакту формуючого різального елемента дозволяє ізолювати його від впливу дії складових сил різання  $P_y$ , які виникають на попередніх чорнових різальних елементах;

3. Відокремлення формуючого різального елемента від корпусу фрези в напрямі дії осьової сили різання та базування пружного різального елемента відносно копіра дозволяє стабілізувати положення формуючого різального елемента та підвищити якість обробки;

4. Стабільне положення формуючого різального елемента з пружним контактом відносно нерухомого копіра, який закріплений на верстаті, дозволяє регулювати осьове положення чистового різального елемента залежно від фізико-механічних характеристик деталей, що оброблюються, та за рахунок регулювання форми копіра є можливість забезпечити відсутність осьового зміщення формуючого різального елемента, що дозволить підвищити якість обробки плоских поверхонь.

#### Список використаної літератури:

1. *Виговський Г.М.* Сучасні тенденції розвитку обробки матеріалів різанням. Процеси механічної обробки в машинобудуванні / *Г.М. Виговський* // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 2 (9). – С. 1–6.
2. *Zhenyu S.* Influence of dynamic effects on surface roughness for face milling process / *S.Zhenyu, L.Luning, L.Zhanqiang* // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – № 80. – P. 1823–1831.
3. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / *Н.С. Равська, П.Р. Родін, Т.П. Ніколаєнко, П.П. Мельничук*. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 232 с.
4. *Ісаєв А.І.* Чистова обробка площин великогабаритних деталей / *А.І. Ісаєв, В.Є. Койре, З.Н. Зубовська*. – Київ, 1962.
5. *Виговський Г.М.* Процес різання торцевими ступінчастими фрезами з косокутною геометрією різальних частин, що оснащені надтвердими матеріалами / *Г.М. Виговський, П.П. Мельничук* // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 7. – С. 73–81.
6. *Стєпчин Я.А.* Порівняльна характеристика динаміки процесів торцевого фрезерування фрезами стандартних та спеціальних конструкцій / *Я.А. Стєпчин* // Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки. – 2016. – № 1 (72). – С. 51–56.
7. *Виговський Г.М.* Безвершинне косокутне фрезерування. Шорсткість поверхні / *Г.М. Виговський, П.П. Мельничук* // Вісник НТТУ «КПІ». Сер. : Машинобудування. – 1999. – № 37. – С. 262–275.
8. High-definition metrology enabled surface variation control by cutting load balancing / *H.T. Nguyen and other* // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2016. – № 138 (2).
9. *Trong N.H.* High-definition metrology enabled surface variation control by reducing cutter-spindle deflection / *N.H. Trong, H.Wang, S.J. Hu* // International Manufacturing Science and Engineering Conference. – American Society of Mechanical Engineers, 2014. – Vol. 45806.
10. Engineering Methodology for Determining Elastic Displacements of the Joint «Spindle Assembly-Face Milling Cutter» While Machining Planes / *H.Vyhovskyi, M.Plysak, N.Balytska and other* // Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham : Springer, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-68014-5\_26.
11. A study of the influence of processing parameters and tool wear on elastic displacements of the technological system under face milling / *D.Y. Pimenov, V.I. Guzeev, T.Mikolajczyk and other* // Int J Adv Manuf Technol. – 2017. – № 92. – P. 4473–4486. DOI: 10.1007/s00170-017-0516-6.
12. *Nguyen H.T.* Characterization of cutting force induced surface shape variation in face milling using high-definition metrology / *H.T. Nguyen, H.Wang, S.J. Hu* // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2013. – № 135 (4).
13. *Кушніров П.В.* Агрегатні головки для фрезерування широких плоских поверхонь / *П.В. Кушніров, Н.В. Захаров* / Стіна. – 1996. – № 2. – С. 29–31.
14. *Кушніров П.В.* Обробка площин торцевою фрезою: нові варіанти / *П.В. Кушніров* // Обладнання та інструмент для професіоналів. – 2004. – № 4 (51). – С. 4–5.
15. The Imitation Study of Taper Connections Stiffness of Face Milling Cutter Shank Using Machine Spindle in the SolidWorks Simulation Environment / *O.Melnyk, L.Hlembotska, N.Balytska and other* // Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham : Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-22365-6\_60.
16. *Виговський Г.М.* Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь : автореф. дис. ... к.т.н. : 05.03.01 Процеси механічної обробки, верстата та інструменти / *Г.М. Виговський*. – К., 2000. – 16 с.

17. Numerical Simulation of Cutting Forces in Face Milling / H.Vyhovskiy, M.Plysak, N.Balytska and other // *Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – Cham : Springer, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-16651-8\_21.
18. Виговський Г.М. Дослідження напружено-деформованого стану торцевої фрези для чистової обробки площин / Г.М. Виговський, М.М. Плисак // *Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки*. – 2019. – № 1 (83). – С. 53–58. DOI: 10.26642/tn- 2019-1(83)-53-58.
19. Виговський Г.М. Дослідження впливу сил різання при чистовому торцевому фрезеруванні на процеси формоутворення оброблюваних поверхонь / Г.М. Виговський, О.А. Громовий, М.М. Плисак // *Технічна інженерія*. – 2023. – № 2 (92). – С. 53–59. DOI: 10.26642/ten-2023-2(92)-53-59.

#### References:

1. Vyhovskiy, H.M. (2010), «Suchasni tendentsii rozvytku obrobky materialiv rizanniam. Protsey mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni», *Visnyk ZhDTU*, No. 2 (9), pp. 1–6.
2. Zhenyu, S., Luning, L. and Zhanqiang, L. (2015), «Influence of dynamic effects on surface roughness for face milling process», *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, No. 80, pp. 1823–1831.
3. Ravska, N.S., Rodin, P.R., Nikolaienko, T.P. and Melnychuk, P.P. (2000), *Osnovy formoutvorennia poverkhon pry mekhanichnii obrobtsi*, ZhITI, Zhytomyr, 232 p.
4. Isaiev, A.I., Koire, V.Ie. and Zubovska, Z.N. (1962), *Chystova obrobka ploshchyn velykohabarynykh detalei*, Kyiv.
5. Vyhovskiy, H.M. and Melnychuk, P.P. (1998), «Protsey rizannia tortsevymy stupinchatymy frezamy z kosokutnoi heometriieiu rizalnykh chastyn, shcho osnashcheni nadtverdymy materialamy», *Visnyk ZhITI*, No. 7, pp. 73–81.
6. Stepchyn, Ya.A. (2016), «Porivnialna kharakterystyka dynamiky protseyv tortsevoho frezeruvannia frezamy standartnykh ta spetsialnykh konstrukttsii», *Visnyk ZhDTU. Ser. Tekhnichni nauky*, No. 1 (72), pp. 51–56.
7. Vyhovskiy, H.M. and Melnychuk, P.P. (1999), «Bezvershynne kosokutne frezeruvannia. Shorstkist poverkhni», *Visnyk NTU «KPI»*. Ser. *Mashynobuduvannia*, No. 37, pp. 262–275.
8. Nguyen, H.T. et al. (2016), «High-definition metrology enabled surface variation control by cutting load balancing», *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, No. 138 (2).
9. Nguyen, H.T., Wang, H. and Hu, S.J. (2014), «High-definition metrology enabled surface variation control by reducing cutter-spindle deflection», *International Manufacturing Science and Engineering Conference*, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 45806.
10. Vyhovskiy, H., Plysak, M., Balytska, N. et al. (2021), «Engineering Methodology for Determining Elastic Displacements of the Joint “Spindle Assembly-Face Milling Cutter” While Machining Planes», *Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-030-68014-5\_26.
11. Pimenov, D.Y., Guzeev, V.I., Mikolajczyk, T. et al. (2017), «A study of the influence of processing parameters and tool wear on elastic displacements of the technological system under face milling», *Int J Adv Manuf Technol*, No. 92, pp. 4473–4486, doi: 10.1007/s00170-017-0516-6.
12. Nguyen, H.T., Wang, H. and Hu, S.J. (2013), «Characterization of cutting force induced surface shape variation in face milling using high-definition metrology», *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, No. 135 (4).
13. Kushnirov, P.V. and Zakharov, N.V. (1996), «Ahrehatni holovky dlia frezeruvannia shyrokykh ploskykh poverkhon», *Stina*, No. 2, pp. 29–31.
14. Kushnirov, P.V. (2004), «Obrobka ploshchyn tortsevoi frezoiu: novi varianty», *Obladnannia ta instrument dlia profesionaliv*, No. 4 (51), pp. 4–5.
15. Melnyk, O., Hlembotska, L., Balytska, N. et al. (2020), «The Imitation Study of Taper Connections Stiffness of Face Milling Cutter Shank Using Machine Spindle in the SolidWorks Simulation Environment», *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-030-22365-6\_60.
16. Vyhovskiy, H.M. (2000), *Pidvyshchennia pratsezdatsnosti tortsevnykh frez dlia chystovoi obrobky ploskykh poverkhon* Abstract of Ph.D. dissertation, 05.03.01 Protsey mekhanichnoi obrobky, verstaty ta instrumenty, K., 16 p.
17. Vyhovskiy, H., Plysak, M., Balytska, N. et al. (2023), «Numerical Simulation of Cutting Forces in Face Milling», *Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-031-16651-8\_21.
18. Vyhovskiy, H.M. and Plysak, M.M. (2019), «Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu tortsevoi frezy dlia chystovoi obrobky ploshchyn», *Visnyk ZhDTU. Ser. Tekhnichni nauky*, No. 1 (83), pp. 53–58, doi: 10.26642/tn-2019-1(83)-53-58.
20. Vyhovskiy, H.M., Hromoviy, O.A. and Plysak, M.M. (2023), «Doslidzhennia vplyvu syl rizannia pry chystovomu frezeruvanni na protsey formoutvorennia obrobliuvanykh poverkhon», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (92), pp. 53–59, doi: 10.26642/ten-2023-2(92)-53-59.

**Виговський** Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-2199-5129>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів;
- різальний інструмент для гнучких виробничих систем.

**Плисак** Микола Миколайович – аспірант кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-3244-6037>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

**Глембоцька** Лариса Євгенівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-7234-4246>.

Наукові інтереси:

- дослідження процесів механічної обробки важкооброблюваних матеріалів;
- проектування різальних інструментів.

**Голубовський** Андрій Васильович – аспірант кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0002-9868-5441>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням.

**Vyhovskyi H.M., Plysak M.M., Hlembotska L.Ye., Golubovskyi A.V.**

#### **Improvement of face mill design for finishing flat surface parts**

The quality machined surface parts depends on the kinematics cutting process, the processing mode, structural and geometric parameters of the cutting tool, etc. Designs of face mill equipped with superhard materials for finishing surfaces are known, modes of their operation and possibilities of ensuring the required quality of processing are defined. The use of stepped face mill, in contrast to conventional designs of mills, makes it possible to ensure the formation of a machined surface with a cutting element that is placed in the radial direction at the smallest distance from the axis of the mill, and in the axial direction - with the greatest projection relative to the face mill body. At the same time, special attention should be paid to the issues of stabilizing the position of the forming cutting element and the effect of cutting forces on the elastic impression of the tool from the surface of the workpiece.

In the work, the authors considered the process of face milling of structural materials with a single-tooth and multi-tooth face milling cutter with elastic movement of the forming knife and with its rigid fixation. As a result of the research on the improved design of the face step cutter, it was established that the elastic fastening of the forming cutting element, which is based on the relatively stationary fixed on the body of the copier, allows excluding the transmission of deformations of the cutter body when cutting with rough cutting elements. This allows you to stabilize the position of the forming cutting element and isolate it from the influence of the component of the cutting force  $P_Y$ , which occurs on the previous rough cutting elements and has a variable value in the sections of the contact arc of the forming cutting element with the workpiece.

An improved design of a stepped face mill with elastic contact of the forming cutting element with a copier fixed on the body of the machine is proposed. The obtained results of the study confirm the possibility of improving the quality through the development of new cutter designs that would provide the necessary indicators of the microgeometry of the treated surfaces.

**Keywords:** face milling; face mill; oblique cutting; step face mills, dynamic cutting process

Стаття надійшла до редакції 14.05.2024.