

Г.М. Виговський, к.т.н., проф.
О.А. Громовий, к.т.н., доц.
Д.М. Оверчук, аспірант
О.А. Шишкова, аспірант

Державний університет «Житомирська політехніка»

Особливості процесів високошвидкісного різання лезовими інструментами

На основі теоретичного розгляду сучасних методів високошвидкісної обробки поверхонь деталей торцевим фрезеруванням визначено напрямки досліджень для подальшого підвищення продуктивності і якості обробки. Основним резервом підвищення продуктивності обробки є скорочення основного технологічного часу. Сучасні методи високошвидкісної обробки дають можливість збільшення продуктивності до 40 % порівняно з традиційними методами. Встановлено ефективні діапазони швидкостей обробки для високоміцних чавунів і загартованих сталей, алюмінію і легких сплавів. Обґрунтовано подальшу необхідність оптимізації конструкцій торцевих фрез для обробки плоских поверхонь деталей, необхідність подальшого проектування високошвидкісних шпиндельних вузлів з частотою обертання до 100000 хв^{-1} і відповідних приводів подач, які мають забезпечувати швидкість лінійних переміщень вузлів, створення надійних засобів контролю стану торцевих фрез і якості в процесі обробки. Доведено ефективність застосування лезового інструменту, оснащеного полікристалічними надтвердими матеріалами, яка дає можливість знизити значення середньоарифметичної висоти мікронерівностей обробленої поверхні до $Ra = 0,08 \text{ мкм}$ і досягти точності обробки по 5–6 квалітету, виключити негативні структурні зміни в поверхневому шарі матеріалів, що обробляються, підвищити продуктивність обробки в 2–5 разів порівняно зі шліфуванням. Використання фрезерних верстатів з високою динамічною жорсткістю дає можливість зменшити вібрації в технологічній оброблювальній системі і має резерв для подальшого збільшення режимів різання із забезпеченням необхідної продуктивності та якості обробки та потребує подальших досліджень.

Ключові слова: високошвидкісна обробка; продуктивність обробки; якість обробки; торцеве фрезерування.

Постановка проблеми. Сучасне машинобудування характеризується тим, що деталі обробляються в умовах дрібносерійного та крупносерійного виробництва зі значним перевищенням частки основного часу відносно допоміжного. Розвиток мікропроцесорної техніки, засобів заміни заготовок і інструментів, засобів діагностики стану металорізального обладнання тощо дає можливість скоротити простої обладнання. Тому, за думкою провідних верстатобудівних фірм, основним резервом підвищення продуктивності обробки є скорочення основного технологічного часу.

В роботах вітчизняних та закордонних авторів досліджено особливості високошвидкісної обробки, типи обладнання, конструктивні особливості лезових інструментів для її реалізації, матеріали, які застосовуються в різальній частині інструментів, режими обробки, вібрації в процесі різання тощо [1–15].

Застосування високошвидкісної обробки дозволяє підвищити продуктивність на 35–40 % порівняно зі звичайним процесом обробки різанням.

Значна частина поверхонь деталей, які підлягають обробці різанням, має плоскі поверхні з високими вимогами до точності та шорсткості, тому підвищення продуктивності їх обробки є актуальним завданням для машинобудівної галузі. Серед найбільш продуктивних методів, що можуть бути застосовані при обробці плоских поверхонь, є використання торцевих фрез, оснащених полікристалічними надтвердими матеріалами (ПНТМ).

Мета дослідження полягає в розгляді існуючих даних щодо можливості використання високошвидкісної обробки для процесів чистового торцевого фрезерування та основних проблем, які необхідно вирішити для його широкого застосування.

Постановка завдання. Існуючі дані [1–4] показують, що залежно від швидкості різання прийнятні такі види обробки різанням:

- звичайна обробка – при $v < 500 \text{ м/хв}$;
- високошвидкісна обробка – при $500 \leq v \leq 10000 \text{ м/хв}$;
- надшвидкісна обробка – при $v > 10000 \text{ м/хв}$.

Варто зауважити, що класифікація швидкостей різання різна для багатьох матеріалів. Так для алюмінію високошвидкісною обробкою вважається швидкість 3000...4700 м/хв для чавуну і сталі –

1500...2500 м/хв, а для більшості армованих пластиків – 3000...10000 м/хв. Найбільш широко високошвидкісне фрезерування застосовують при обробці алюмінію і легких сплавів інструментом зі швидкорізальних сталей, надтвердих матеріалів або твердих сплавів, досягаючи в лабораторних умовах швидкостей понад 4000 м/хв. Це пояснюється також тим, що в останній час розширюється область застосування алюмінієвих і легких сплавів для деталей машин.

Перевагами високошвидкісного фрезерування є [6, 7, 10, 13, 14]:

- більш висока, ніж при звичайному різанні, шорсткість поверхні, що має можливість відмовитися від наступного чистового проходу;
- винесення стружкою виникаючого при різанні тепла (80...96 %);
- можливість використання переважно різального інструменту із недорогих інструментальних матеріалів (твердого сплаву, кераміки тощо);
- більш високу стійкість інструмента (приблизно на 70 %);
- можливість обробки без вібрацій нежорстких деталей;
- зниження сили різання приблизно на 30 % порівняно зі звичайним різанням;
- збільшення питомого об'єму стружки, яка знімається (навіть при обробці дуже складних заготовок) на 30 %, оскільки при збільшенні швидкості подачі в 10 разів продуктивність різання збільшується приблизно в 4 рази.

В теперішній час існує потреба подальшого вивчення особливостей високошвидкісної обробки для обґрунтування явищ і процесів, що її супроводжують. При запровадженні високошвидкісного фрезерування виникає низка технічних проблем:

1. Необхідність оптимізації конструкцій торцевих фрез, геометрії їх різальних ножів, а також режимів різання для отримання найкращого співвідношення між продуктивністю обробки, якістю обробки і вартістю інструменту для умов високошвидкісної обробки;

2. Проектування високошвидкісних шпиндельних вузлів з частотою обертання до 100000 хв⁻¹ і відповідних приводів подач, які мають забезпечувати швидкість лінійних переміщень вузлів до 25 м/хв [7, 8, 13];

3. Підвищення динамічних характеристик верстатів і зменшення теплових деформацій;

4. Створення надійних засобів контролю стану торцевих фрез і якості в процесі обробки;

5. Оснащення верстатів пристроями для видалення стружки;

6. Визначення раціональних інструментальних матеріалів для тих чи інших оброблюваних матеріалів; Інструментальними матеріалами, які використовуються під час високошвидкісного фрезерування, є:

- 1) тверді сплави з багатошаровими покриттями;
- 2) мінералокераміка;
- 3) полікристалічні надтверді матеріали;
- 4) полікристалічні алмазні інструменти;

Так фірма «Sandvik AG» (Швейцарія) застосовує під час використання твердих сплавів таке тришарове покриття:

➤ внутрішній шар TiC, що забезпечує високу зносостійкість і зчеплюваність покриття з твердим сплавом;

➤ проміжний шар Al₂O₃, який надає необхідну стійкість під дією теплового впливу;

➤ зовнішній шар TiN, що зменшує тертя по передній поверхні.

Використання як матеріалу різальних ножів фрез мінералокераміки дозволяє отримати високу температурну стійкість і запобігти хімічній спорідненості до більшості основних матеріалів, що обробляються.

На чорнових операціях для обробки сплавів на нікелевій основі і сірого чавуну при глибині різання понад 0,7 мм фірма «Gartret Turbine Engine» використовує різальні пластинки з кераміки марки Kyon 2000 фірми «Kennametal Inc» (США). При зменшенні глибини різання виникає підвищення зношування вершини різця. Для більшості виконаних операцій на цій фірмі використовують керамічні пластинки марки Cer Max 440 фірми «Carbology Systems» (США).

Стійкість інструментів, оснащених керамікою марки Kyon 2000, при обробці чавуну в 10–15 разів вища, ніж стійкість твердосплавних інструментів з покриттями.

Відомою високоміцною керамікою фірми «Ford Motor Company» є марка S-8. Матеріал S-8 є різновидом нітриду кремнію. Він дуже жорсткий і може працювати за високих температур без охолодження. Інструменти із матеріалу S-8 добре переносять ударні навантаження, зокрема і теплові. Вони можуть працювати при швидкості різання до 1850 м/хв при великих подачах. Значною перевагою порівняно із твердосплавними пластинками з багатошаровими покриттями є можливість багаторазового переагострення.

Дослідження і практика застосування інструменту із ПНТМ показують, що технологічні процеси, які базуються на його використанні, дають можливість [7–13]:

➤ знизити значення середньоарифметичної висоти мікронерівностей обробленої поверхні до $R_a = 0,08$ мкм і досягти точності обробки по 5–6 квалітету;

- виключити структурні зміни в поверхневому шарі матеріалів, що обробляються;
- змінити традиційний технологічний процес виготовлення деталей із загартованих сталей (побудувати його по схемі: прецизійні заготівельні операції – термообробка – фінішна обробка);
- підвищити продуктивність обробки в 2–5 разів порівняно зі шліфуванням;
- замінити тверді сплави, що містять вольфрам, на операціях чистового і напівчистового точіння.

Особливо перспективним варто вважати застосування різальних ножів із нітриду бору при лезовій обробці чавунів, причому, і сирих і важкооброблюваних – загартованих. Для сирих чавунів це 900–1000 м/хв. При цьому у зіставленні з твердосплавним інструментом швидкості різання збільшуються майже на порядок, ресурс інструменту багаторазово зростає. Якість обробки значно покращується.

Такі властивості нітриду бору при обробці чавунів потребують високої швидкості різання, у протилежному випадку при низьких швидкостях різання він має меншу стійкість порівняно із твердосплавним інструментом.

Накопичений досвід свідчить, що найбільш ефективним є застосування алмазного інструменту на чистових операціях при обробці деталей із кольорових металів і їх сплавів, а також із полімерних композиційних матеріалів [9, 10]. При фрезеруванні одно- і багатоножовою фрезою стійкість інструменту буде нижчою, ніж при обробці без удару. Середня стійкість алмазних різців між переточками при обробці латуні: точіння неперервне – $(1,5-2) \cdot 10^5$ м; точіння переривчасте – $(1,5-2,5) \cdot 10^4$ м; фрезерування – $(1,7-3) \cdot 10^4$ м [10]. Фрезерування застосовують для обробки деталей із кольорових металів і сплавів, дорогі металів, площин і пазів з високими вимогами по якості оброблених поверхонь. На чистову обробку залишають припуск не більше 0,1–0,15 мм.

Високошвидкісне торцеве фрезерування загартованих сталей і чавунів інструментом, оснащеним ножами із ПНТМ, супроводжується більш низьким рівнем сил різання порівняно з обробкою традиційним інструментом. Як правило, через малі площини зрізу важливу роль, а в багатьох випадках визначальну, грають сили на задній поверхні інструменту. Ця величина може перевищувати сили на передній поверхні, що визначають стружкоутворення. Визначено [12], що складові сили різання P_x , P_y , P_z змінюються за одним законом. Зі збільшенням швидкості різання вони швидко зростають, досягаючи максимуму, і далі понижуються, спочатку більш інтенсивно. З ростом швидкості різання інтенсивності зменшення сил різання знижується. Це пояснюється контактними процесами в зоні різання. В районі низьких значень ріст швидкості збільшує температуру різання і, відповідно, адгезійна взаємодія матеріалу, що обробляється, з інструментом. При цьому коефіцієнт тертя в зоні контакту зростає, збільшується значення складових сили різання. Подальший ріст швидкості різання продовжує збільшувати температуру в контактній зоні інструмент – оброблюваний матеріал до значень, за яких падає міцність адгезійних зв'язків через розм'якшення металу. Коефіцієнт тертя при цьому знижується і відповідно знижуються сили різання. Таким чином, зниження сил викликається розігрівом зони різання до температури 1000–1100 °С.

Інтенсивний знос фрез при високошвидкісному фрезеруванні металевих заготовок, пов'язаний з високою швидкістю різання, є обмежуючим чинником підвищення точності і продуктивності. Незважаючи на застосування нових різальних матеріалів, що дозволяють підвищити стійкість фрез, своєчасне визначення припустимого значення їх зношення слугує одним з можливих шляхів усунення погіршення якості і точності оброблюваної поверхні, зв'язаних зі зношенням.

У [7] викладено особливості методу виміру зносу фрез під час заміни заготовки при високошвидкісній обробці, що базується на визначенні термоелектрорушійної сили (термоерс) у зоні різання. Контактна температура, викликана тертям задньої поверхні інструмента об матеріал, який зрізується під час фрезерування, створює в ланцюзі електричну напругу, яка після знімання датчиком передається в комп'ютер.

Експерименти проводилися на високошвидкісному фрезерному верстаті HSC-120 (фірма KLINK) з використанням цільних інструментів із твердого сплаву BK6 ($d = 6$ мм, $L = 60$ мм, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $z = 2$).

Для виявлення впливу зносу фрез на термоерс експерименти проводилися із застосуванням як нових, так і зношених фрез. Необхідний знос фрез одержували під час обробки призматичної заготовки з матеріалу сталь 40 на режимах різання: $n = 40000$ хв⁻¹; $S_z = 0,03$ мм; $B = 6$ мм; $t = 1,5$ мм. Величину зносу задньої поверхні леза фрези (макс. 0,2 мм) контролювали двокоординатним оптичним вимірювальним приладом ZKM 01-250 C (Zeiss).

Результати експериментів показали, що при збільшенні швидкості різання термоерс у нових і зношених фрез зростає неоднаково. При зростанні швидкості різання від 188 до 750 м/хв термоерс у зношених фрез збільшується в 1,8 раза, а в нових фрез – у 1,3 раза.

Це пояснюється тим, що на термоерс (за допомогою температури різання) впливає як швидкість різання, так і стан фрез, що слугує причиною одержання більшої величини термоерс у зношених фрез. Таким чином, при високих швидкостях різання термоерс – це раціональний параметр для діагностики зносу.

Термоерс зростає зі збільшенням глибини фрезерування і за різних швидкостей різання має однакову тенденцію. Це пов'язано з впливом глибини фрезерування на об'єм зрізаного шару, який збільшується зі

зростанням глибини фрезерування. Відповідно збільшується і робота зняття стружки, що спричиняє більш високу температуру різання.

Зі збільшенням подачі на зуб під час фрезерування новими фрезами термоерс зростає, а при фрезеруванні зношеними фрезами лінійно зменшується в досліджуваному інтервалі. Як відомо, при малому значенні подачі на зуб з'являється стружка з малою площею перетину, для зняття якої при фрезеруванні зношеними фрезами потрібна більша питома сила різання, ніж при фрезеруванні новими фрезами, що у свою чергу спричиняє підвищення температури різання [7].

Із збільшенням подачі на зуб зменшується питома сила і відповідно температура різання, що слугує причиною зменшення термоерсу. Як показують результати експериментів, цей ефект не має місця при фрезеруванні новими фрезами.

Як встановлено між величиною зносу фрези і значеннями термоерсу існує майже лінійна залежність.

Відомими виробниками верстатів для проведення високошвидкісної обробки є фірми «Turchan», «Cincinnati Milacron», «Ingersoll». Основним виробником шпинделів є фірма «Vruant» (частота обертання – 3000...150000 хв⁻¹). Опорами шпинделів слугують роликіві або шарикові підшипники з попереднім натягом, з водяним охолодженням або змащенням масляним туманом.

Для високошвидкісного фрезерування великогабаритних алюмінієвих заготовок фірма «Ex-Cell-O» розробила верстат моделі XB206 (з частотою обертання шпинделя 40000 хв⁻¹). Під час фрезерування заготовок з глибиною різання 5 мм і подачею 8 м/хв швидкість різання досягає 2400 м/хв.

Фірмою «Forest-Line» створено дослідні установки для високошвидкісного фрезерування алюмінію, легованого кремнієм і звичайного алюмінію. Бетонні станини, які армовані сталевими прутами, забезпечують високу динамічну жорсткість і відсутність вібрацій. Установки оснащуються магнітним шпинделем фірми S2M або аеростатичним (потужністю до 15 кВт) з частотою обертання до 60000 хв⁻¹. Напрямні також виконані аеростатичними, що дає змогу здійснювати подачу зі швидкістю до 30 м/хв.

Для високошвидкісного торцевого фрезерування необхідно застосовувати конструкції фрез з більш надійним кріпленням різальних ножів відповідної діаметру фрези кількості. Велике значення при надвисоких частотах обертання фрез має їх динамічне балансування.

Висновки. Високошвидкісне торцеве фрезерування є прогресивним методом обробки плоских поверхонь деталей. Для більш широкого запровадження цього методу обробки необхідним є виконання широких експериментальних досліджень з метою вивчення особливостей процесу різання. Перспективною є розробка нових конструкцій торцевих фрез для високошвидкісної обробки з вибором найбільш раціональної геометрії різальних ножів фрез. Доведено ефективність застосування лезового інструменту, оснащеного полікристалічними надтвердими матеріалами, яка дає можливість знизити значення середньоарифметичної висоти мікронерівностей обробленої поверхні до Ra = 0,08 мкм і досягти точності обробки по 5–6 квалітету, виключити негативні структурні зміни в поверхневому шарі матеріалів, що обробляються, підвищити продуктивність обробки в 2–5 разів порівняно зі шліфуванням.

Список використаної літератури:

1. Machinability analysis in high-speed milling of AlSi7Mg alloys under EMQL conditions: An approach toward sustainable manufacturing / J.Xu, L.Li, T.Lin and other // Journal of Manufacturing Processes. – 2022. – Vol. 81. – P. 1005–1017.
2. Jain A. Introduction to high-speed machining (HSM) / A.Jain, V.Bajpai // High Speed Machining / editor(s): K.Gupta, J.P. Davim. – Academic Press, 2020. – P. 1–25.
3. Investigations of critical cutting speed and ductile-to-brittle transition mechanism for workpiece material in ultra-high speed machining / B.Wang, Z.Liu, G.Su and other // International Journal of Mechanical Sciences. – 2015. – Vol. 104. – P. 44–59.
4. Formation mechanism of ultrafine grains at machined surface of 0.45 % carbon steel under high-speed turning process / H.- W. Park, M.Matsuda, K.Ishitaka and other // Journal of Manufacturing Processes. – 2024. – Vol. 113. – P. 171–182.
5. High-speed milling of hardened steel under minimal quantity lubrication with liquid nitrogen / S.Wu, G.Liu, W.Zhang and other // Journal of Manufacturing Processes. – 2023. – Vol. 95. – P. 351–368.
6. Cutting performance of binderless nano-polycrystalline cBN and PcBN milling tools for high-speed milling of hardened steel / D.Wang, L.Yin, A.Hänel and other // Ceramics International. – 2023. – Vol. 49, Issue 22, Part A. – P. 34757–34773.
7. Підвищення ефективності обробки плоских поверхонь фрезеруванням / П.П. Мельничук, Г.М. Виговський, О.А. Громовий та ін.; під ред. П.П. Мельничука. – Житомир : ФОП Євро-Волинь, 2017. – 287 с.
8. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : автореф. дис. ... докт. техн. наук / П.П. Мельничук. – К. : НТУУ «КПІ», 2002. – 26 с.
9. 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.
10. Лавріненко В.І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці : енциклопедичний довідник / В.І. Лавріненко, М.В. Новіков ; за заг. ред. М.В. Новікова. – К. : ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.
11. Громовий О.А. Шляхи удосконалення процесу обробки плоских поверхонь деталей фрезеруванням / О.А.Громовий, Г.М. Виговський, Н.О. Балицька // Технічна інженерія. – 2020. – № 2 (86). – С. 48–53.

12. 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.
13. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні : підручник / А.І. Грабченко та ін. ; ред. А.І. Грабченко. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 512 с.
14. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко, та ін. ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 3-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 471 с.
15. Numerical Simulation of Cutting Forces in Face Milling / H.Vyhovskyi, M.Plysak, N.Balytska and other ; in V.Tonkonogyi, V.Ivanov, J.Trojanowska and other (eds) / Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham : Springer, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-16651-8_21.

References:

1. Xu, J., Li, L., Lin, T. et al. (2022), «Machinability analysis in high-speed milling of AlSi7Mg alloys under EMQL conditions: An approach toward sustainable manufacturing», *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 81, pp. 1005–1017.
2. Jain, A. and Bajpai, V. (2020), «Introduction to high-speed machining (HSM)», *High Speed Machining*, in Gupta, K. and Davim, J.P. (ed), Academic Press, pp. 1–25.
3. Wang, B., Liu, Z., Su, G. et al. (2015), «Investigations of critical cutting speed and ductile-to-brittle transition mechanism for workpiece material in ultra-high speed machining», *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 104, pp. 44–59.
4. Park, H.-W., Matsuda, M., Ishitaka, K. et al. (2024), «Formation mechanism of ultrafine grains at machined surface of 0.45 % carbon steel under high-speed turning process», *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 113, pp. 171–182.
5. Wu, S., Liu, G., Zhang, W. et al. (2023), «High-speed milling of hardened steel under minimal quantity lubrication with liquid nitrogen», *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 95, pp. 351–368.
6. Wang, D., Yin, L., Hänel, A. et al. (2023), «Cutting performance of binderless nano-polycrystalline cBN and PcBN milling tools for high-speed milling of hardened steel», *Ceramics International*, Vol. 49, Issue 22, Part A, pp. 34757–34773.
7. Melnychuk, P.P., Vyhovskyi, H.M., Hromovyi, O.A. et al. (2017), *Pidvyschennia efektyvnosti obrobky ploskykh poverkhon frezeruvanniam*, in Melnychuk, P.P. (ed), FOP Yevro-Volyn, Zhytomyr, 287 p.
8. Melnychuk, P.P. (2002), *Naukovi osnovy chystovoho tortsevoho frezeruvannia ploskykh poverkhon*, Abstract of D.Sc. dissertation, NTUU «KPI», K., 26 p.
9. Vyhovskyi, H.M. (2010), «Suchasni tendentsii rozvytku obrobky materialiv rizanniam. Protsey mekhanichnoi obrobky v mashynobuduvanni», *Visnyk ZhDTU*, No. 2 (9), pp. 1–6.
10. Lavrinenko, V.I. and Novikov, M.V. (2013), *Nadtvordi abrazivni materialy v mekhanobrobtsi*, entsyklopedychnyi dovidnyk, in Novikov, M.V. (ed), INM im. Bakulia, V.M. NAN Ukrainy, K., 456 p.
11. Hromovyi, O.A., Vyhovskyi, H.M. and Balytska, N.O. (2020), «Shliakhy udoskonalennia protsesu obrobky ploskykh poverkhon detalei frezeruvanniam», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (86), pp. 48–53.
12. Vyhovskyi, H.M., Hromovyi, O.A. and Plysak, M.M. (2023), «Doslidzhennia vplyvu syl rizannia pry chystovomu tortsevomu frezeruvanni na protsey formoutvorennia obrobliuvanykh poverkhon», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 2 (92), pp. 53–59, doi: 10.26642/ten-2023-2(92)-53-59.
13. Hrabchenko, A.I. et al. (2011), *Robochi protsey vysokyykh tekhnolohii u mashynobuduvanni*, pidruchnyk, in Hrabchenko, A.I. (ed.), ZhDTU, Zhytomyr, 512 p.
14. Mazur, M.P., Vnukov, Yu.M., Hrabchenko, A.I. et al. (2020), *Osnovy teorii rizannia materialiv*, pidruchnyk, in Mazur, M.P. (ed.), 3-e vyd. pererob. i dop., Novyi Svit-2000, 471 p.
15. Vyhovskyi, H., Plysak, M., Balytska, N. et al. (2023), «Numerical Simulation of Cutting Forces in Face Milling», in Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J. et al. (ed.), *Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, doi: 10.1007/978-3-031-16651-8_21.

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

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

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

Громовий Олексій Андрійович – кандидат технічних наук, в. о. завідувача кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокаїна Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-2761-0736>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- адитивні технології (3D-друк);
- системи автоматизованого проектування в машинобудуванні.

Оверчук Дмитро Миколайович – аспірант кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0003-5860-718X>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

Шишкова Оксана Андріївна – аспірант кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0004-2062-4870>.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- системи автоматизованого проектування в машинобудуванні.

Vihovskyi H.M., Gromovyy O.A., Overchuk D.M., Shyshkova O.A.

Features of high-speed cutting processes of blade metal cutting tools

On the basis of a theoretical consideration of modern methods of high-speed machining of the surfaces of parts by end milling, research directions for further improvement of productivity and quality of machining are determined. The main reserve for increasing machining productivity is the reduction of the main technological time. Modern methods of high-speed machining provide an opportunity to increase productivity by up to 40% compared to traditional methods. Effective ranges of machining speeds are established for high-strength cast irons and hardened steels, aluminum and light alloys. The further need to optimize the designs of end mills for machining the flat surfaces of parts, the need for further design of high-speed spindle assemblies with a rotation frequency of up to 1666 Hz and the corresponding feed drives, which must ensure the speed of linear movements of the assemblies, the creation of reliable means of monitoring the state of end mills and quality is substantiated in the process of machining. The effectiveness of the use of a blade tool equipped with polycrystalline superhard materials has been proven, which makes it possible to reduce the value of the arithmetic mean height of the micro-uniformities of the treated surface to $Ra=0.08 \mu\text{m}$ and to achieve machining accuracy tolerance of IT5-IT6 grade, to exclude negative structural changes in the surface layer of materials, to be processed, increase the machining productivity by 2-5 times compared to grinding. The use of milling machines with high dynamic stiffness makes it possible to reduce vibrations in the technological machining system and has a reserve for further increasing the cutting modes to ensure the required productivity and quality of machining and requires further research.

Keywords: high-speed machining; machining productivity; machining quality; face milling.

Стаття надійшла до редакції 22.03.2024.