

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-45-54](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-45-54)
УДК 621.914

С.І. Радкевич, аспірант
Л.Є. Глембоцька, к.т.н., доц.
П.П. Мельничук, д.т.н., проф.
В.А. Кирилович, д.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Конструктивне рішення торцевих фрез зі змінними непереточуваними пластинами для обробки плоских поверхонь деталей з чавунів

Обробка плоских протяжних поверхонь деталей з різних типів чавунів здійснюється торцевими фрезами, які за своїми конструкційними характеристиками можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Велику роль у виборі фрез відіграють фізико-механічні характеристики чавунів, які залежно від способів їх отримання, вмісту, виду та форми вуглецю в них, наявності легуючих елементів можуть мати істотно відмінні показники. Однак разом з тим є ряд властивостей, які об'єднують їх у одну групу матеріалів і дають підставу для постановки такого завдання, як пошук універсального інструменту, який би давав можливість отримувати поверхні деталей з чавунів високої якості при мінімальних затратах. Особливо високі вимоги висуваються до якості та надійності поверхонь тертя. У цій роботі були розглянуті конструкції існуючих торцевих фрез та різальних пластинок від провідних виробників різальних інструментів та оптимальні режими різання. Представлено порівняльну оцінку пропозиції торцевих фрез та комплектуючих до них міжнародного ринку різальних інструментів для обробки різних типів чавунів. Проведено аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних науковців з питань зносостійкості інструментів з механічним кріпленням різальних пластин, в результаті якого виявлено, що під час використання різальних пластин круглої форми мають найкращі показники зносостійкості. Відштовхуючись від опрацьованої інформації, плануємо створити універсальний багатолезовий інструмент, за допомогою якого можна буде ефективно обробляти поверхні деталей з різних типів чавунів при високій його зносостійкості.

Ключові слова: конструкції торцевих фрез; торцеве фрезерування; обробка чавунів; різальні пластини.

Постановка проблеми. Серед величезної кількості різних конструкційних матеріалів, які нині існують, лідерами досі є чавуни, завдяки своїм ливарним властивостям, термостійкості, здатності поглинати вібрації, міцності та зносостійкості в умовах тертя. Особливо вагомою перевагою їх використання є порівняно низька вартість. До того ж в умовах швидких темпів розвитку металургійної галузі, ринок чавунів весь час поповнюється новими, ще більш доскональними зразками, які за сукупністю своїх фізико-механічних характеристик здатні скласти конкуренцію багатьом існуючим високоякісним конструкційним матеріалам. Їх використовують для виготовлення різних відповідальних деталей, зокрема тих, які працюють в парах тертя, від якості, точності, надійності та довговічності яких залежить робота механізмів складовими яких вони є. Це можуть бути станини верстатів, супорти, каретки, напрямні планки, блоки циліндрів, гальмівні диски та багато інших. Їх обробка здійснюється найчастіше торцевими фрезами зі змінними різальними пластинками, матеріалами яких можуть бути твердосплавні матеріали з покриттями або без, керамічні матеріали та матеріали на основі кубічного нітриду бору. Компаніями-виробниками різальних інструментів пропонується широкий вибір інструментів та різальних пластин для них. Вони надають свої рекомендації щодо вибору режимів різання та інструментального матеріалу для чавунів групи К та Н. Однак досить часто вони не враховують того, що чавуни, хоч і мають спільну назву, також мають дуже багато відмінностей і оброблюваність їх різна, а тому вибіркові рекомендації для них не можуть бути оптимальними. І разом з тим, в умовах реального виробництва не завжди можливо створити умови, які б відповідали тим, які пропонуються виробниками інструментів, а тим більше, коли мова йде про інструменти з надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бора. Особливо, коли мова йде про вітчизняні підприємства, на більшості з яких працюють металорізальні верстати з частотами обертання, які зазвичай не перевищують 2000 хв⁻¹. А це призводить до обробки плоских поверхонь на неоптимальних режимах різання, швидкого зношування різального інструменту та погіршення якості обробки. Саме тому пошук універсального різального інструменту, який би враховував усі фактори, які негативно впливають на якість, продуктивність та економічність процесу обробки плоских чавунних деталей, є актуальним проблемою, яка потребує вирішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Провідні світові виробники металорізальних інструментів, такі як Kennametal, Seco, SandvikCoromant, Mitsubishi, TaeguTec, Iscar і багато інших, пропонують широкий асортимент збірних торцевих фрез. Вивчення його допоможе зробити вибір необхідних для наступних експериментів дослідницьких матеріалів та наблизитися до вирішення поставленої проблеми.

Науковці та виробники різальних інструментів приділяють велику роль формі різальних пластин та інструментальним матеріалам для їх виробництва, які значною мірою впливають на стійкість інструменту та продуктивність обробки ним. Зокрема в роботі [1] авторами був проведений статистичний аналіз напружено-деформованого стану моделей різальних інструментів зі змінними пластинами круглої та п'ятигранної форми. За його результатами пластини круглої форми мають значні переваги, і їх використання може значно підвищити стійкість оснащеного ними різального інструменту. Крім форми різальної пластини, велике значення мають способи їх встановлення в корпус інструмента та точність закріплення [2–4]. Розташування ножів у фрезі та застосування прогресивних схем різання також відіграють важливу роль у продуктивності обробки різанням. Як зазначається в роботі [5], використання спірально-ступінчастої схеми різання при торцевому фрезеруванні високоміцного та сірого чавунів дало змогу зрізати до 6–8 мм припуску.

Для обробки чавунів існує велика кількість інструментальних матеріалів, але за оцінкою більшості як науковців, так і компаній-виробників різальних інструментів найкращими серед них є надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору (CBN). Вони мають високу міцність, стійкість до термічних ударів і можуть ефективно працювати в умовах преривчастого різання. Стійкість інструментів з пластинами з надтвердих матеріалів на основі CBN у декілька разів більша порівняно з твердосплавними матеріалами. А здатність працювати при високих швидкостях різання дає можливість підвищувати продуктивність обробки у 3 і більше разів [6]. З метою підвищення зносостійкості на змінні непереточуванні пластини наносять захисні покриття. У роботі [7] запропоновано для підвищення стійкості на етапі припрацювання інструмента наносити на різальні пластини покриття $n\text{-TiC}/\alpha\text{-C}$.

Метою статті є аналіз конструктивних рішень торцевих фрез для обробки плоских поверхонь деталей з чавунів для створення в подальшому універсального багатолезового інструменту та на його основі розробки рекомендацій для ефективної обробки різних типів чавунів.

Викладення основного матеріалу. Стрімкий розвиток машинобудування висуває високі вимоги до сучасного різального інструменту та до розробки більш економічних технологій його виробництва. Разом з тим, для підвищення ефективності обробки поверхонь деталей потрібно збільшувати надійність та зносостійкість цих інструментів. Одні з найбільш використовуваних конкурентоспроможних конструкційних матеріалів, які потребують якісної обробки, є чавуни, з яких виготовляють деталі машин, високоточне обладнання металорізальних верстатів тощо. Їх працездатність вимагає забезпечення необхідної контактної жорсткості та зносостійкості з'єднань. Поверхні таких деталей повинні мати мінімальну шорсткість та мінімальні відхилення від площинності. Досить часто вони мають великі габарити, а тому потребують великої кількості дороговартісного інструменту для їх обробки. Саме тому приділяється дуже багато уваги підвищенню ефективності такої обробки. Виробники різальних інструментів постійно виводять на ринок все нові і нові торцеві фрези для обробки чавунів. Найбільшим попитом серед них користуються збірні конструкції торцевих фрез з механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин. Перевагою їх використання є можливість встановлення в їх корпус різальних пластинок різної форми та з різних інструментальних матеріалів. Механічне кріплення їх позбавляє напруження в місці з'єднання та дає можливість здійснювати швидку заміну їх в разі затуплення або руйнування. Пластини ці можуть бути двосторонніми і мати багато різальних кромок (до 16), що значно збільшує період їх експлуатації.



Рис. 1. Обробка поверхні блока циліндрів з чавуну збірною торцевою фрезою з механічно закріпленими в ній змінними непереточуваними різальними пластинами

Так шведська компанія Sandvik Coromant [8], яка є лідером серед виробників торцевих фрез для обробки чавунів та пропонує найбільший вибір змінних непереточуваних пластин, розробила лінійку фрез CoroMill. Найбільшим попитом серед них користується фреза CoroMill 245, якою можна здійснювати як важку чорнову, так і фінішну обробку з високою швидкістю зняття шару металу. Вона має чотири різальні кромки і кут у плані 45° , завдяки якому практично прирівнюються радіальні та осьові сили, що мінімізує споживану потужність. Пластини можуть бути вибрані як з твердосплавних матеріалів з покриттями та без, так і з керамічних та надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору. Також можна застосовувати пластини з Wiper геометрією для підвищення продуктивності під час чистових операцій. Вибір такої фрези є хорошим економічним рішенням на виробництві, оскільки, змінюючи пластинки, можна обробляти широкий діапазон матеріалів, використовуючи один і той самий корпус.



Рис. 2. Торцева фреза RA200-088J31.75-12M з круглими пластинами з заднім кутом 7°

Інша фреза з цієї лінійки CoroMill 200 – міцна надійна фреза, яка підходить як для торцевого, так і для профільного фрезерування в важких умовах. Форма пластин для неї кругла і може бути підібрана у згаданих вище матеріалах. Виробники запевняють, що її використання дозволяє підвищити продуктивність виробництва та зменшити схильність до появи вібрацій. При обробці здійснюється безударне врізання та вихід інструмента, що сприяє підвищенню його зносостійкості [8].

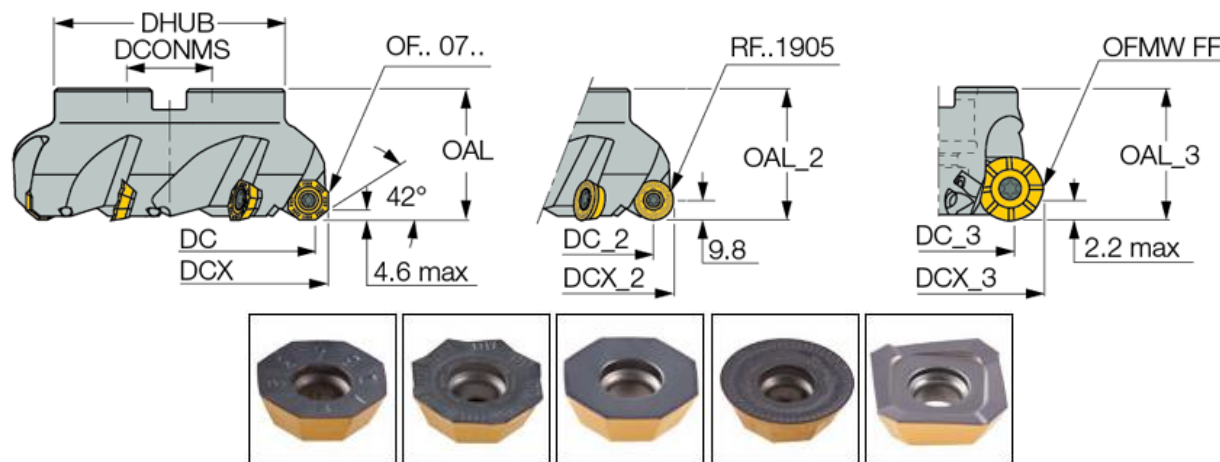


Рис. 3. Універсальна торцева фреза компанії Iscar Heliosto та змінні непереточувани пластини

Ізраїльська компанія Iscar [9] також приділяє велику увагу виробництву універсальних торцевих фрез для обробки чавунів. Особливо вдалим їх проектом є випуск серії універсальних фрез Heliosto, які дозволяють

надійно закріплювати в корпусі однієї фрези пластини квадратної, восьмикутної, круглої та сегменто-радіусної форми та здійснювати різні фрезерувальні роботи. Єдиним недоліком є обмежений вибір інструментальних матеріалів для них.



Рис. 4. Багатофункціональна торцева фреза з тангенціальним кріпленням пластин

Компанія Mitsubishi Materials [10] розробила багатофункціональну фрезу з тангенціальним кріпленням пластин, яка дозволяє обробляти широку гаму конструкційних матеріалів та здійснювати різні фрезерні операції. Завдяки багаторазовим руйнівним експериментам було досягнуто розробку надійного довговічного корпусу, з тангенціальним розміщенням пластин у ньому, яке забезпечує високу його жорсткість. За рахунок великих розмірів посадочної поверхні здійснюється надійне кріплення пластин, яке запобігає виникненню відхилень пластин під час обробки важкооброблюваних матеріалів. Також розробники заявляють, що пластини мають високу міцність за рахунок їх великим зусиллям та вдосконаленням її геометрії та матеріалу. Вони називають її однією з найцінніших технологій Mitsubishi Materials. Ця фреза дозволяє значно зменшити витрати на виробництво та отримувати поверхні високої якості.

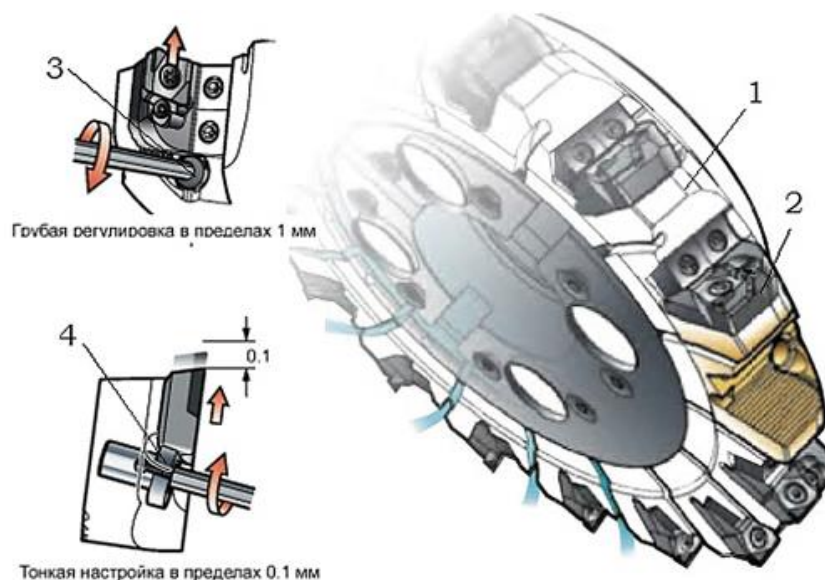


Рис. 5. Універсальна торцева фреза CoroMill Century зі змінними касетами

Ще більш універсальною є торцева фреза CoroMill Century [8] зі змінними касетами. Змінні касети дозволяють підбирати багато різних комплектів пластин з різною формою та матеріалом. У такій фрези можна регулювати радіальне та осьове положення пластин (макрорегулювання в межах 1 мм і мікро – в межах 0,1 мм). Завдяки чому можна зменшувати радіальне та торцеве биття, що сприяє підвищенню якості обробленої поверхні та стійкості інструмента. Однак вартість такої фрези висока і зазвичай виготовляється під замовлення.

Існують також збірні торцеві фрези з можливістю регулювання радіального, осевого та кутового положень пластин. У [4] проводилися дослідження методів реалізації регулювання різальних вставок в збірних торцевих фрезах та проаналізовано існуючі конструкції збірних торцевих фрез. У результаті було запропоновано конструкцію різального інструменту, завдяки якій полегшується осьове та радіальне регулювання, яке здійснюється двома гвинтами.

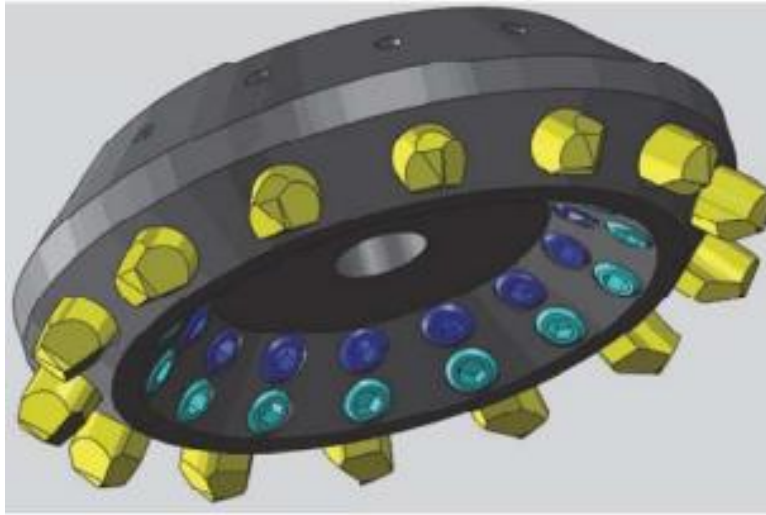


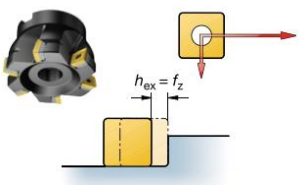
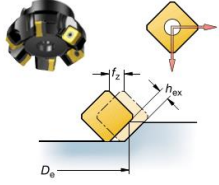
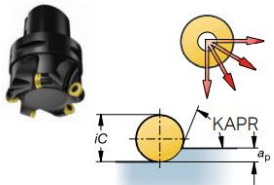
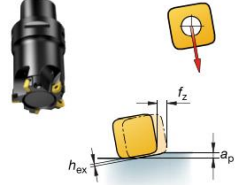
Рис. 6. 3D модель збірної торцевої фрези з регулюванням різальних вставок

Перевагою збірної конструкції фрези з механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин є зменшення кількості використовуваних інструментів та можливість використання декількох різальних кромки, зокрема для круглих пластин можна використовувати практично всю її колову довжину [2]. Однак слабким місцем у них може бути невисока точність установки змінних непереточуваних пластин в корпусі інструмента, від якої залежить точність обробки поверхонь цим інструментом. Положення кромки в такому випадку залежить від точності її базування і закріплення. В [3] проводилися дослідження точності установки пластин п'ятигранної та круглої форми для визначення точності їх позиціонування. Середнє арифметичне відхилення центра розсіювання для круглих пластин не перевищує 0,2 мкм, а для пластин п'ятигранної форми воно більше в 1,5 рази, а при їх повороті ці значення збільшуються у 5 разів.

Велике значення має вибір форми різальних пластин. Так [1] проводився статичний аналіз напружено-деформованого стану моделі торцевої фрези з механічним кріпленням круглих та п'ятигранних пластин. Було з'ясовано, що напруга зосереджена вздовж головної різальної кромки, а найбільше її значення у вершині. Величина її за Мізесом для фрез з п'ятигранними пластинами становила 0,75 МПа, а з круглими пластинами – 0,6 МПа. Деформації різальних пластин п'ятигранної форми становили $1,2 \times 10^{-6}$ мм, а для пластин круглої форми – $0,83 \times 10^{-6}$ мм. Було виявлено, що статистичні переміщення для моделі різального інструменту з п'ятигранними змінними пластинами дорівнюють 0,00013 мм, а для моделі з круглими пластинами – 0,00011 мм. Відповідно до епюр головних напруг для різальних пластин п'ятигранної форми вони дорівнюють 0,78 МПа, а для пластин круглої форми – 0,17 МПа. Отже, посилаючись на отримані результати статистичного аналізу проведеного авторами роботи [1], можемо очікувати, що стійкість торцевої фрези зі змінними пластинами круглої форми буде більшою порівняно з інструментом з пластинами п'ятигранної форми, а це в свою чергу буде зменшувати виробничі витрати на підприємстві.

Велику роль у процесі різання відіграє величина головного кута в плані, який встановлює напрям сил різання та визначає величину глибини різання. В таблиці 1 вказані особливості застосування фрез з різними кутами в плані [8].

Вплив кута в плані на процес обробки

Головний кут в плані 90°	Головний кут в плані 45°	Змінний кут в плані	Головний кут в плані 10–25°
			
<p>Створюють переважно радіальні сили різання, які діють в напрямку подачі. Можуть працювати з великими глибинами різання порівняно з розміром пластини, але характеризується невисокою продуктивністю. Використовуються для обробки тонкостінних деталей, для прямокутних уступів та для слабозакріплених в осьовому напрямку деталей</p>	<p>Осьова та радіальна сили практично врівноважуються. Плавне врізання зменшує вібрації. Зменшуються вимоги до потужності верстата. Ефект потоншення стружки дає можливість збільшувати подачі, і тим самим підвищити продуктивність. Мають широке застосування</p>	<p>Сили змінюються разом з кутом в плані в процесі різання. Високоєфективні при чорновій обробці. Забезпечують максимальну міцність різальної кромки. Надають можливість працювати з високими подачами, завдяки тонкій стружці, яка утворюється вздовж довгої різальної кромки, що є важливим при обробці жароміцних сплавів</p>	<p>Переважають осьові сили різання, направлені до шпинделя, що забезпечує жорсткість системи та мінімізує вібрації. Призначені для обробки з невеликими глибинами різання з тонкою стружкою, але з великими подачами вібрації</p>

Зменшення глибини різальної кромки сприяє потонненню стружки і забезпечує підвищення продуктивності обробки. Кут в плані для круглих пластин може змінюватись, і від його зміни змінюється глибина різання. Найбільш ефективною буде обробка з кутом в плані 45°, глибина різання при цьому дорівнює радіусу пластини (табл. 2) [11].

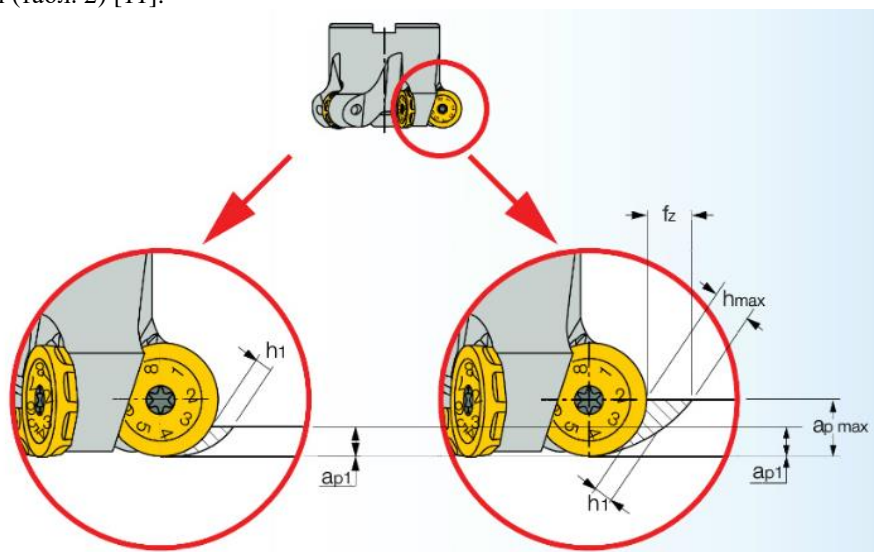


Рис. 7. Залежність відношення глибини різання до радіуса пластини від кута в плані для круглих пластин

Таблиця 2

Залежність відношення глибини різання до радіуса пластини від кута в плані для круглих пластин

ap/r	1/16	1/8	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
φтах	20°	29°	52°	60°	68°	76°	83°	90°
φопт	10°	14,5°	26°	30°	34°	38°	41,5°	45°

Компанії-виробники різальних інструментів розробили пластини з геометрією Wiper, за допомогою яких можна значно покращити якість обробленої поверхні при більших подачах. Така пластина монтується в корпус інструмента, дещо виступаючи (на 0,05 мм) по відношенню до інших стандартних пластин і завдяки своїй геометрії зачищає оброблювальну поверхню [8]. Найбільша їх ефективність досягається за високої подачі на оберт для фрез великого діаметра з дрібним кроком. Вони можуть компенсувати хвилястість, яка виникає внаслідок осьового биття фрези, яке залежить від точності налаштування та закріплення її. Оптимальні глибини різання при цьому 0,5–1мм.

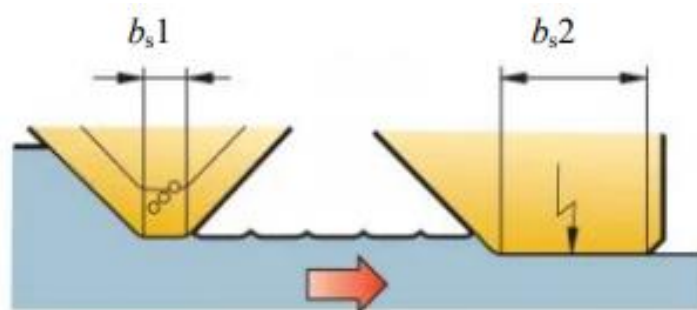


Рис. 8. Змінні різальні пластини з геометрією Wiper для зачистки поверхні

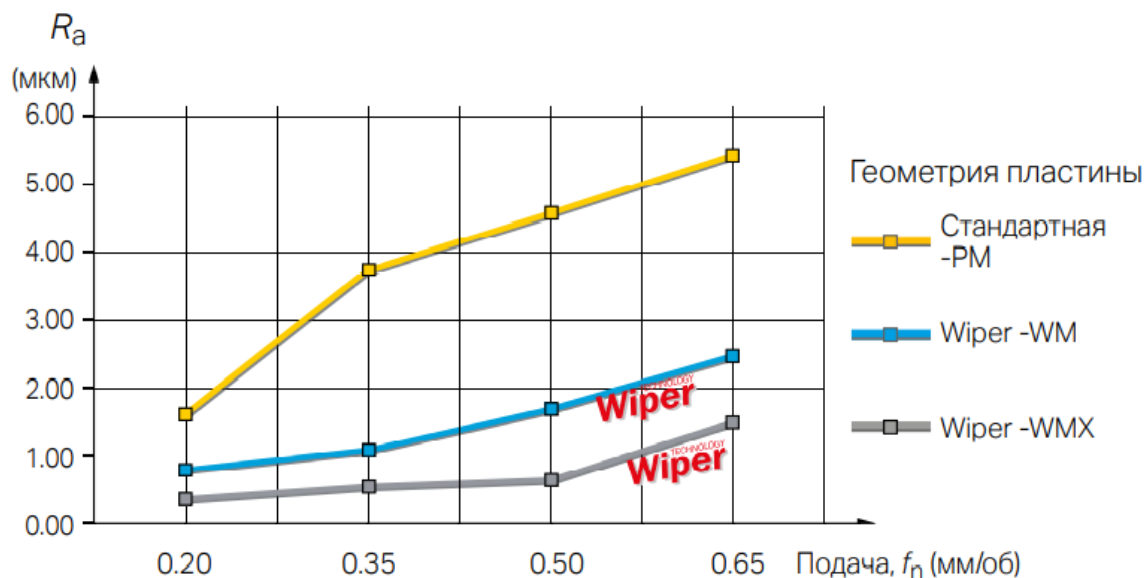


Рис. 9. Графік залежності шорсткості поверхні і подачі для пластин з стандартною та геометрією Wiper

Поруч з різноманіттям форм різальних пластин компанії-виробники пропонують великий вибір інструментальних матеріалів, зокрема для обробки чавунів найбільшим попитом користуються твёрдосплавні матеріали, різальна кераміка та надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору. Відповідно до оцінки фахівців, які займаються дослідженнями зносостійкості інструментів з різних видів інструментальних

матеріалів, надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору мають найбільшу зносостійкість, а обробка ними найбільш продуктивна. Компанія Kennametal [12] презентувала в своєму каталозі результати досліджень обробки гальмівного диска з сірого чавуну, які підтверджують переваги надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору по відношенню різальної кераміки.

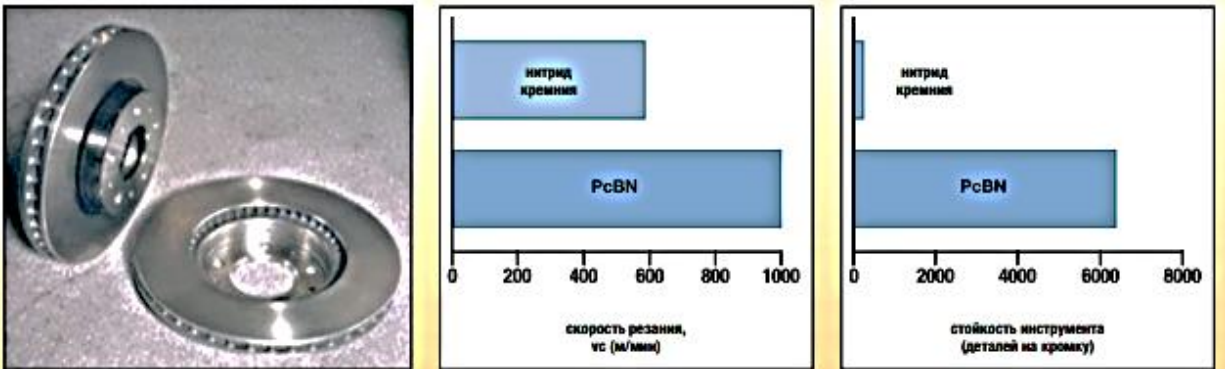


Рис. 10. Порівняння показників швидкості різання та стійкості інструмента при обробці гальмівного диску з сірого чавуну надтвердим матеріалом на основі CBN та різальної кераміки

Аналіз даних, які надаються зарубіжними компаніями-виробниками, підтверджує, що пластини з надтвердих матеріалів мають у декілька разів більші показники стійкості і продуктивності обробки. В Україні науковці інституту з надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля займаються розробкою нових зразків інструментальних матеріалів та зносостійких покриттів. Зокрема, в роботі [7] проводилися дослідження зносостійкості різального інструменту з нанесенням покриття n-TiC/ α -C поверхні пластин з надтвердих матеріалів на основі CBN. В результаті було з'ясовано, що це дало змогу підвищити стійкість інструменту на етапі його припрацювання. Однак вартість і самих пластин з надтвердих матеріалів на основі CBN, і нанесення покриттів на них досить висока, а вона є вагомою складовою кінцевої собівартості продукції. Разом з тим, велике значення у цій собівартості відіграє стійкість інструменту та продуктивність обробки ним, і їх підвищення в результаті призводить до позитивного економічного ефекту [13]. Тому вони мають бути враховані при виборі інструмента, а компанії-виробники, в свою чергу, повинні виготовляти надійний інструмент, який відповідав би своїй вартості і дозволяв би досягати найбільшої ефективності обробки на виробництві. Більшість різальних інструментів відповідає цим вимогам, однак вони є адаптованими до обладнання і умов виробництва зарубіжних підприємств, і часто не можуть працювати на повну потужність на вітчизняних підприємствах. Разом з тим, при обробці чавунів досить часто не враховуються їх особливості, які стосуються фізико-механічних характеристик, їх структурного стану, форми і розміру вуглецю в них та вмісту різних легуючих елементів.

Висновки. Враховуючи усі переваги та недоліки існуючих конструкцій торцевих фрез з механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин для обробки плоских поверхонь деталей з чавунів, плануємо сконструювати універсальний багатофункціональний інструмент з можливістю регулювання положень різальних елементів, в якому враховувалися б особливості обробки різних типів чавунів, та який був би адаптований до місцевих умов виробництва і дозволяв досягати найбільшої ефективності обробки.

Список використаної літератури:

1. Митин Э. Выбор рациональной формы сменных многогранных пластин торцевых фрез на основании статистического анализа напряженно-деформированного состояния / Э.Митин, С.Сульдин, А.Мартышкин // САПР и графика. – 2017. – № (1). – 55 с.
2. Мельничук П.П. Удосконалення способів закріплення ріжучих пластин з надтвердих матеріалів / П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, О.В. Головатенко [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/sutech5_2010.pdf.
3. Доценко С.В. Особенности конструкции и работы торцевых фрез с пятигранными МНП / С.В. Доценко, П.В. Куширинов // Мат. наук.-тех. конф. викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету. – Суми : СумДУ, 2007. – Ч.1. – С. 38.
4. Збірні торцеві фрези з регульованими ріжучими вставками / П.В. Куширинов, І.М. Дегтярьов, А.В. Євтухов, О.Б. Руденко // Компресорне і енергетичне машинобудування. – 2019. – № 4 (58). – С. 6–10.

5. *Виговський Г.М.* Удосконалення способів обробки плоских поверхонь деталей / *Г.М. Виговський, О.А. Громовий* // *Обладнання і технології сучасного машинобудування* : Мат. Всеукр. наук.-прак. конф, 11-12 травня. – Т. : ТНТУ, 2017. – С. 48–49.
6. *Обработка металлов резанием* : справочник технолога / *А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойко* и др. ; под общ. ред. *А.А. Панова*. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с.
7. Вплив зносостійкого покриття n-TiC/ α -C на працездатність інструментів із ПНТМ на основі КНБ / *С.Ан. Клименко, Ю.Е. Рижов, В.В. Бурикін, А.С. Манохін* // *Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування* : збірник наукових праць. – 2013. – № 3 (69). – С. 191–197.
8. Каталог Sandvik Coromant [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://docs.steelcam.org/sandvik/katalog-vrashayushiesya-instrumenty-2017>.
9. Каталог компанії Iscar [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cutt.ly/OKgOtQY>.
10. Каталог Mitsubishi Materials [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cutt.ly/GKgOpOj>.
11. Каталог компанії Iscar [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://cutt.ly/UKgOhvf>.
12. Каталог Kennametal [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ruvir.ru/upload/iblock/f78/f7858cccbf5ab6cf2d64c312efc5cce4.pdf>.
13. *Новиков Ф.В.* Определение оптимальных условий механической обработки деталей машин по критерию наименьшей себестоимости / *Ф.В. Новиков, В.А. Жовтобрюх, Е.Ю. Бенин* // *Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. : Тех. науки* : зб. наук. праць. – Маріуполь : ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т». – 2012. – № 1 (24). – С. 241–247.

References:

1. Mitin, E., Sul'din, S. and Martyshkin, A. (2017), «Vybor ratsional'noi formy smennykh mnogogrannykh plastin tortsovykh frez na osnovanii statisticheskogo analiza napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya», *SAPR i grafika*, No. (1), 55 p
2. Mel'nichuk, P.P., Lojev, V.Ju. and Golovatenko, O.V. (2010), *Udoskonalennja sposobiv zakriplennja rizhuchykh plastyn z nadtverdyh materialiv*, [Online] available at: http://library.kpi.kharkov.ua/files/JUR/sutech5_2010.pdf
3. Dotsenko, S.V. and Kushnirov, P.V. (2007), *Osobennosti konstruktssii i raboty tortsovykh frez s pyatigrannymi MNP*, Mat. nauk.-teh. konf. vykladachiv, spivrobinykiv, aspirantiv i studentiv inzhenerenogo fakul'tetu, SumDU, Sumy, Part 1, pp. 38.
4. Kushnirov, P.V., Degtjar'ov, I.M., Jevtuhov, A.V. and Rudenko, O.B. (2019), «Zbirni torcevi frezy z regul'ovanyu rizhuchymu vstavkamy», *Kompresorne i energetychno mashynobuvannja*, No. 4 (58), pp. 6–10.
5. Vygovs'kyj, G.M. and Gromovuj, O.A. (2017), «Udoskonalennja sposobiv obrobky ploskykh poverhon' detalej», *Obladnannja i tehnologii' suchasnogo mashynobuvannja*, Mat. Vseukr. nauk.-prak. konf, 11-12 travnja, TNTU, T., pp. 48–49.
6. Panov, A.A., Anikin, V.V., Boiko, N.G. et al. (2004), *Obrabotka metallov rezaniem : spravochnik tekhnologa*, by Panova, A.A. (ed.), 2-e izd., pererab. i dop., Mashinostroenie, M., 784 p.
7. Klymenko, S.An., Ryzhov, Ju.E., Burykin, V.V. and Manohin, A.S. (2013), «Vplyv znosostijtkogo pokryttja n-TiC/ α -C na pracezdatnist' instrumentiv iz PNTM na osnovi KNB», *Visnyk NTUU «KPI». Mashynobuvannja*, zbirnyk naukovykh prac', No. 3 (69), pp. 191–197.
8. Каталог Sandvik Coromant, [Online] available at: <https://docs.steelcam.org/sandvik/katalog-vrashayushiesya-instrumenty-2017>
9. Каталог компанії Iscar, [Online] available at: <https://cutt.ly/OKgOtQY>
10. Каталог Mitsubishi Materials, [Online] available at: <https://cutt.ly/GKgOpOj>
11. Каталог компанії Iscar, [Online] available at: <https://cutt.ly/UKgOhvf>
12. Каталог Kennametal, [Online] available at: <https://ruvir.ru/upload/iblock/f78/f7858cccbf5ab6cf2d64c312efc5cce4.pdf>
13. Novikov, F.V., Zhovtobryukh, V.A. and Benin, E.Yu. (2012), «Opredelenie optimal'nykh uslovii mekhanicheskoi obrabotki detalei mashin po kriteriyu naimen'shei sebestoimosti», *Visnyk Pryazov's'kogo derzhavnogo tehničnogo universytetu. Ser. Teh. nauky*, zb. nauk. prac', DVNZ «Pryazov. derzh. tehn. un-t», Mariupol', No. 1 (24), pp. 241–247.

Радкевич Світлана Іванівна – аспірант Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

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

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

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

Мельничук Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, професор Державного університету «Житомирська політехніка»

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів різанням;
- проектування різальних інструментів.

<https://orcid.org/0000-0003-0361-756X>.

Кирилович Валерій Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. професора Б.Б. Самокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

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

Radkevych S.I., Hlembotska L.Ye., Melnychuk P.P., Kyrylovych V.A.

**Design solution of end mills with replaceable non-sharpened plates
for processing flat surfaces of cast iron parts**

Processing of flat extended surfaces of parts made of various types of cast iron is carried out by end mills, which may differ significantly from each other in their structural characteristics. An important role in the choice of milling cutters is played by the physical and mechanical characteristics of cast iron, which, depending on the methods of their production, the content, type and form of carbon in them, and the presence of alloying elements, can have significantly different indicators. However, at the same time, there are a number of properties that combine them into one group of materials and give grounds for setting such a task as finding a universal tool that would make it possible to obtain the surfaces of parts made of high-quality cast iron at minimal cost. Particularly high requirements are placed on the quality and reliability of friction surfaces. The paper considers the designs of existing end mills and cutting plates from leading manufacturers of cutting tools and optimal cutting modes. A comparative assessment of the offer of end mills and their components on the international market of cutting tools for processing various types of cast iron is presented. The analysis of the works of domestic and foreign scientists on the issues of wear resistance of tools with mechanical fastening of cutting plates is carried out, as a result of which it was revealed that when using round cutting plates, they have the best wear resistance indicators. Based on the information developed, we plan to create a universal multi-blade tool that can be used to effectively process the surfaces of parts made of various types of cast iron with high wear resistance.

Keywords: mill design; end milling; cast iron processing; cutting plates.

Стаття надійшла до редакції 10.03.2022.