

УДК 621.914

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.  
О.А. Громовий, к.т.н., доц.  
В.В. Ковальов, ст. викл.  
О.В. Мельник, інж.

*Житомирський державний технологічний університет*

## РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ КОМБІНОВАНОЇ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ОДНОЧАСНОЇ ОБРОБКИ ПАРАЛЕЛЬНИХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

*Робота присвячена аналізу переваг комбінованих інструментів, розробці та оптимізації конструкції торцевої фрези для одночасної обробки паралельних плоских поверхонь деталей.*

**Постановка проблеми.** Одним зі шляхів інтенсифікації металообробки є вдосконалення різальних інструментів. Іншим напрямком розвитку механічної обробки є концентрація технологічних переходів, яка дозволяє багатократно знизити трудомісткість виготовлення деталей, збільшити продуктивність, зменшити собівартість обробки. Обидва ці напрямки поєднуються при створенні комбінованих інструментів, яким можна обробляти одну або декілька поверхонь. На сьогодні такий інструмент широко використовують при одночасній обробці ступінчастих поверхонь тіл обертання за допомогою різноманітних конструкцій різців та їх наборів, ступінчастих отворів – комбінованими осьовими та розточувальними інструментами, паралельних плоских поверхонь – наборами дискових інструментів, що являють собою групу фрез, що підібрані за профілем і розмірами обробленої поверхні деталі та закріплені на спільній оправці. Це скорочує кількість операцій, установок і переходів, підвищує продуктивність. Використання наборів фрез забезпечує також більш високу точність і якість деталі, порівняно з послідовною обробкою окремими фрезами [1, 2].

На сьогодні у виробництві все більш широко використовують високоміцні чавуни, які значно гірше оброблюються твердосплавним інструментом. Замість нього використовують торцеве фрезерування інструментом з надтвердих матеріалів (НТМ), що забезпечує одночасне підвищення продуктивності й якості обробки деталей, гарантує ріст ефективності виробництва [3–6].

Актуальним є завдання поєднати переваги інструменту, оснащеного НТМ, з перевагами комбінованих інструментів, тобто

створити торцеву фрезу, оснащену різальними ножами з НТМ, для одночасної обробки декількох поверхонь.

**Мета роботи.** Розробка та вдосконалення конструкції торцевої фрези для одночасної обробки паралельних поверхонь.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота пов'язана з виконанням НДР Житомирського державного технологічного університету 0112U001791 "Теоретичні і технологічні основи розвитку способів формоутворення плоских поверхонь торцевим лезовим інструментом".

**Аналіз публікацій.** Торцеві фрези, оснащені НТМ, залежно від кількості зубів поділяють на одно- і багатозубі. Залежно від виду поверхонь, що оброблюються, і ті й інші фрези можуть бути поділені на дві групи:

1. Для обробки тільки відкритих поверхонь, в яких вісь різальної вставки перпендикулярна поверхні, що оброблюється.

2. Для обробки не тільки відкритих, а й закритих поверхонь, в яких кут між віссю вставки і оброблюваною площиною менший за  $90^\circ$  (рис. 1).

За рекомендаціями Оргстанкінпрому в фрезах, призначених для обробки поверхонь з профілем типу "ласточкин хвост", цей кут слід приймати рівним  $40^\circ$ . Збільшення або зменшення його призведе до збільшення вильоту вставки, послаблення її кріплення і, як наслідок, до вібрації в процесі обробки. При зменшенні кута нахилу вставки, крім того, значно збільшується зняття і відкриття вставки з НТМ при заточці, що викликає до послаблення кріплення полікристалу і зниження надійності роботи фрези.

Багатозубі фрези, оснащені НТМ, що використовуються на заводах, працюють за методом ділення глибини різання і ділення подачі. В фрезах, що працюють за методом ділення глибини різання, різальні вставки закріплюють на різних відстанях як від осі обертання фрези, так і від оброблюваної поверхні. Вставка, найближча до осі фрези, має максимальний виліт і є чистовою, всі інші різальні вставки виставляються одна відносно одної на задану величину (на величину глибини різання кожної з вставок) та є чорновими. Недоліком цього методу є те, що він не може бути використаний при обробці закритих поверхонь. Однак в більшості випадків використовують багатозубі фрези, що працюють за методом ділення подачі, в яких різальні вставки розташовані на однаковій відстані як від осі обертання фрези, так і оброблюваної поверхні. При цьому фрези відрізняються одна від одної кількістю і кутом нахилу різальних вставок, способами їх кріплення і регулювань.

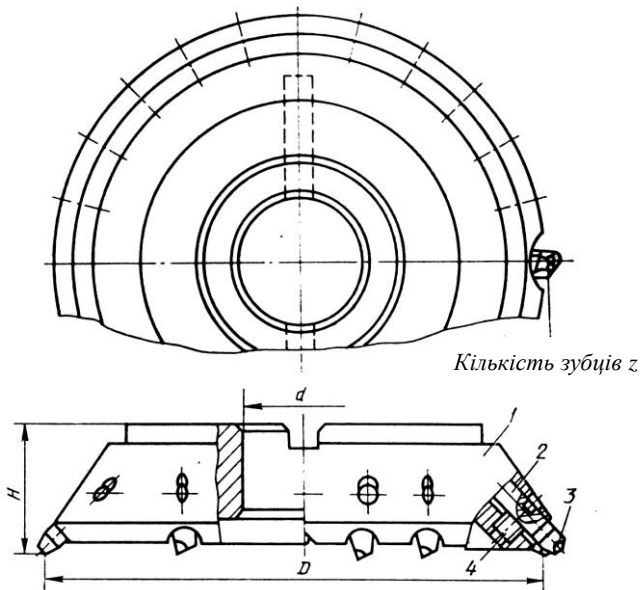


Рис. 1. Фреза торцева насадна регульована зі вставками-ножами, оснащеними композитом

Сестрорецький інструментальний завод випускає багатозубі торцеві фрези декількох типорозмірів, що оснащені ельбором–Р і гексанітом–Р (рис. 2). Корпус фрези складається з диску 1 зі наскрізними отворами під ножі 3 і клинки 2 (в цій деталі відсутні швидкозношувані різьбові отвори) і деталі 5 у вигляді кільця, в якому розміщені всі різьбові отвори, необхідні для зборки і регулювання фрези.

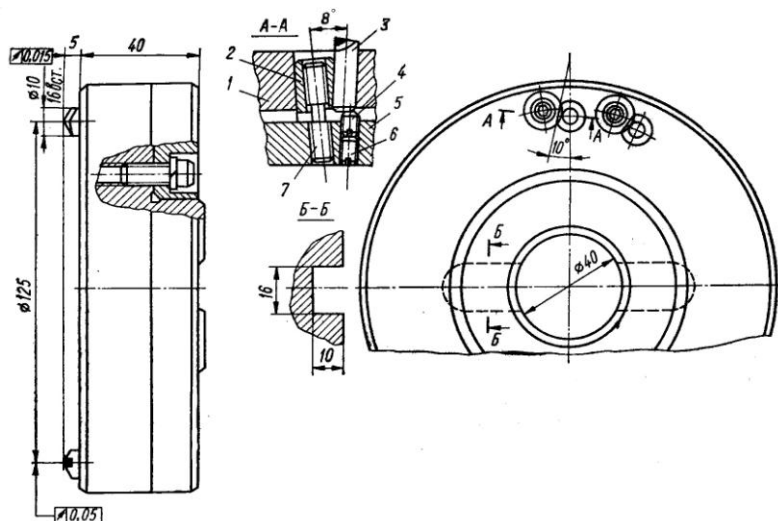


Рис. 2. Схема багатозубої торцевої фрези конструкції ВНДП

Різальні ножі і клинки повернуті в одному напрямку відносно осі фрези на кут  $\gamma = -10^\circ$ . Наявність диференціального гвинта 7 в клиновому механізмі сприяє стопорінню останнього і швидкому зніманню ножа. Стопорний гвинт 6 забезпечує постійне положення гвинта регулювання 4. Регулювання положення різців можливе тільки в осьовому напрямку. Кінцеве загострювання фрез проводиться в зборі.

Торцеві збірні фрези діаметром 80–200 мм зі вставними ножами, що переточуються, оснащеними полікристалами з композиту 01 або 10 (рис. 3), з регульованим торцевим биттям в межах до 0,005 мм. Для зниження шорсткості обробленої поверхні при роботі на підвищених подачах вершина ножів оформлюється більшим радіусом порядку 30–50 мм. Область використання – обробка відкритих і закритих поверхонь на шліфувальних верстатах, на верстатах з ЧПК і обробляючих центрах замість попереднього і кінцевого шліфування, частково замість шабріння. Глибина різання – не більше 0,5 мм при повздовжніх подачах до 5–10 м/хв. Шорсткість обробленої поверхні  $R_a = 0,2 - 2,0$  мкм.

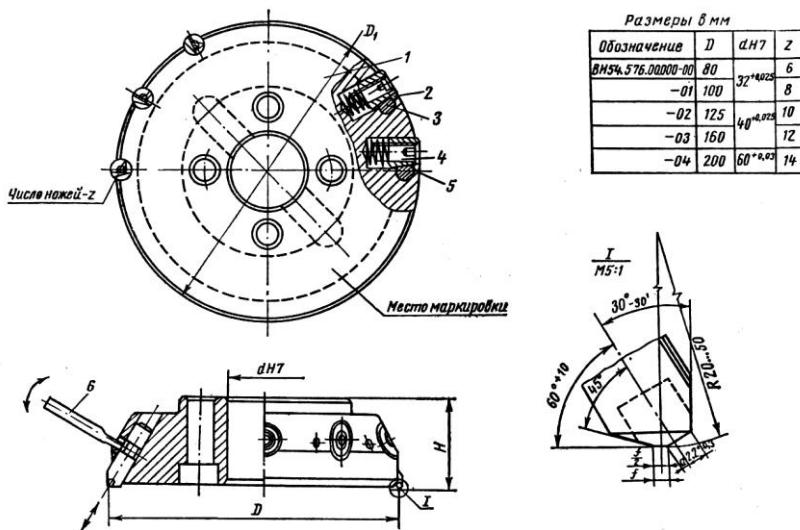


Рис. 3. Конструкція фрези торцевої насадної діаметром 80–100 мм регульованої зі вставними ножами, оснащеними композитом 01 або 10

Торцеві збірні фрези діаметром 100–400 мм з механічним кріпленням високоточних за діаметром непереточуваних пластин круглої форми з композиту 01, 05 і 10Д (рис. 4), з регульованим торцевим биттям різальних кромок в межах до 0,01 мм. Область використання – чистова обробка замість твердосплавних фрез і абразивних кругів (при шліфуванні). Глибина різання – не більше 1,5 мм. Поздовжня подача не більше 2,0 мм/хв. Шорсткість обробленої поверхні  $R_a = 0,4 - 2,5$  мкм.

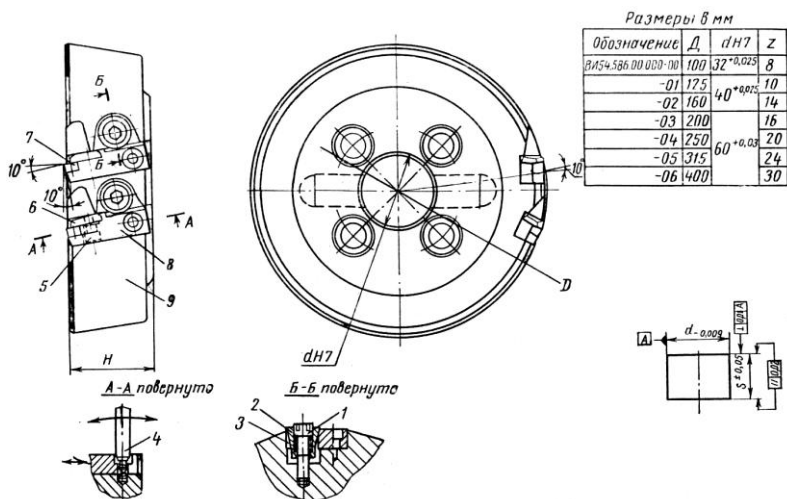


Рис. 4. Конструкція фрези торцевої насадної діаметром 80–100 мм, регульованої з механічним кріпленням круглих непереточуваних пластин високої точності з композиту 01, 05, 10Д

Торцеві збірні нерегульовані фрези діаметром 100–400 мм з механічним кріпленням прецизійних пластин круглої форми з композиту. Однорядні з пластинами з композиту 05 і 10Д (рис. 5) і ступінчасті з пластинами з композиту 05 (рис. 6). Порівняно невелике торцеве биття (в однорядних фрез – 0,02–0,05 мм, у ступінчатих – 0,04–0,07 мм, залежно від діаметра) досягається високою точністю виготовлення відповідних конструктивних елементів і використанням прецизійних пластин. Область використання – чистова і попередня обробка сталей і чавунів, в тому числі по ливарній кірці. Глибина різання однорядними фрезами – до 3,0 мм, ступінчастими – до 6,0 мм. Поздовжні подачі – не більше 0,1 мм/зуб. Шорсткість обробленої поверхні сірого чавуну  $R_a = 1,0–6,0$  мкм.

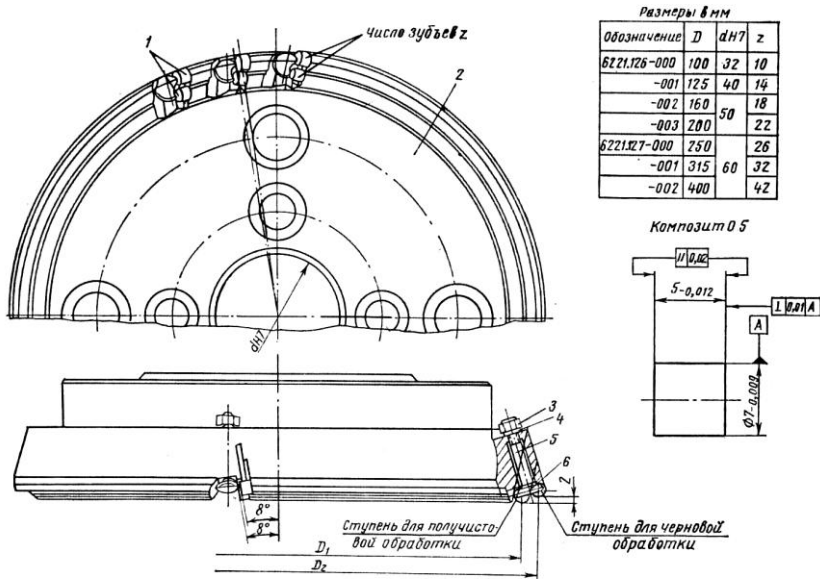


Рис. 5. Конструкция фрезы торцевой насадной ступинчатой диаметром 100–400 мм с механическим креплением круглых непереточуваных прецизионных пластин з композиту 05

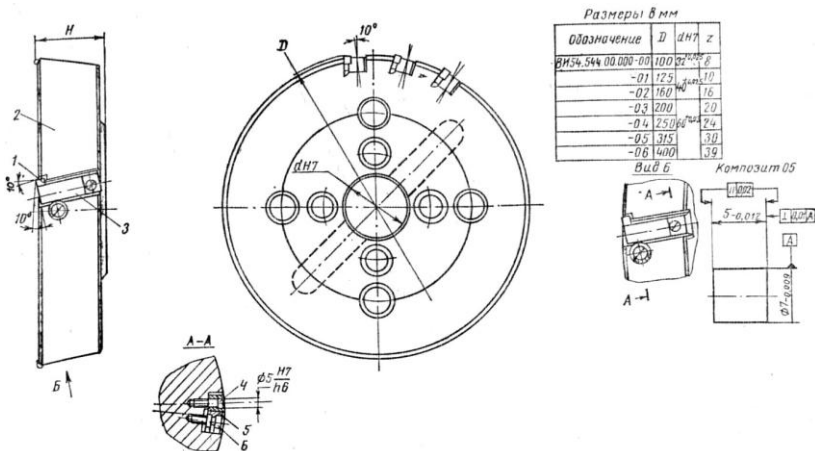


Рис. 6. Конструкция фрезы торцевой насадной диаметром 100–400 мм с механическим креплением круглых непереточуваных прецизионных пластин з композиту 05 або 10Д

Таким чином забезпечується тонка, чистова, напівчистова обробка, а також фрезерування чавунів по кірці безпосередньо після лиття в широкому діапазоні глибин різання і подач замість шліфування і фрезерування дефіцитним твердосплавним інструментом.

Фрези, що випускаються Сестрорецьким інструментальним заводом ім. Воскова, рекомендуються для чистової обробки всіх типів поверхонь (відкритих, напівзакритих, зворотних, типу «ласточкин хвост», закритих).

Фрези виготовляють в двох виконаннях (рис. 7) [11]:

- 1) з радіальним кріпленням ножів (з кутом нахилу ножів  $\varphi = 60^\circ$ );
- 2) з тангенційним кріпленням ножів (з кутом нахилу  $\varphi = 40^\circ$  і  $\varphi = 60^\circ$ ).

Фрези з кутом  $\varphi = 60^\circ$  рекомендуються для обробки відкритих, напівзакритих, зворотних поверхонь, з кутом нахилу  $\varphi = 40^\circ$  – для обробки поверхонь всіх типів.

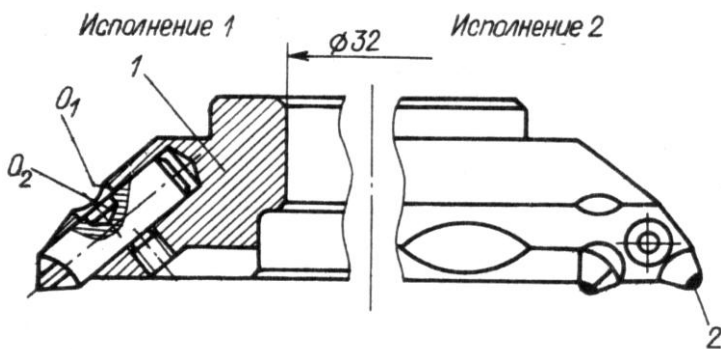


Рис. 7. Фреза торцева насадна зі вставними ножами, оснащеними композитом, регульована

Перевагою показаних фрез є їх оснащення НТМ, що дає можливість використання тонкого фрезерування та є одним з ефективних шляхів підвищення точності і продуктивності обробки. Одним із недоліків представлених конструкцій фрез є те, що кожна з них за один прохід обробляє тільки одну площину.

Є можливість підвищити продуктивність за рахунок одночасної обробки декількох поверхонь за прохід, створивши комбіновану торцеву фрезу для одночасної обробки паралельних поверхонь



(наприклад, на деталях типу салазок, на напрямних та інших деталях, де можлива обробка декількох паралельних поверхонь).

**Виклад основної частини.** Підвищення продуктивності та якості обробки в сучасних конструкціях чистових торцевих фрез досягається:

1. збільшенням кількості різальних ножів при збільшенні надійності та точності кріплення у корпусі фрези;
2. використання торцевих фрез, оснащених ножами з НТМ, для яких характерним є малий розмірний знос та висока стійкість інструменту;
3. забезпечення регулювання осьового вильоту різальних ножів;
4. перерозподіл подач між чорновими та чистовими різальними ножами з метою розвантаження чистових ножів;
5. використання ступінчастого торцевого фрезерування з метою перерозподілу припуску між ступінцями фрези [7, 8] тощо.

Недоліком торцевого фрезерування є те, що за рахунок існуючих похибок базування та закріплення фрез і заготовок виникають похибки розташування різальних ножів фрез відносно координатних осей верстата. Це призводить до нерівномірного навантаження різальних ножів і сприяє їх підвищеному зношуванню. Погіршення динаміки не дає можливості забезпечити необхідну якість обробленої поверхні. Ці ж проблеми заважають отримати потрібну точність взаємного розташування декількох паралельних поверхонь, що обробляються послідовно торцевим фрезеруванням.

На сьогодні є можливість досягти цієї точності та якості обробленої поверхні шляхом впровадження методу обробки декількох поверхонь за один прохід шляхом використання комбінованої торцевої фрези, оснащеної НТМ, для одночасної обробки декількох паралельних поверхонь.

Комбіновані інструменти вже набули широкого використання в серійному та масовому виробництві, проте вже сьогодні вони все частіше застосовуються і в умовах індивідуального та малосерійного виробництва.

Перевагами використання комбінованого інструменту є [9]:

1. зменшення кількості технологічних переходів для обробки деталі;
2. можливість підвищення точності обробки за рахунок зниження похибки базування у зв'язку зі зменшенням кількості переустановок;
3. економія енергетичних затрат;
4. зменшення кількості необхідного інструменту.

Використання комбінованих інструментів спрощує конструкцію агрегатних верстатів і автоматичних ліній. Крім того, скорочується номенклатура різального і допоміжного інструментів, підвищується продуктивність обробки за рахунок зниження машинного і допоміжного часу, можливість видалення значних припусків за рахунок суміщення роботи декількох лез та здешевлення операцій за рахунок використання більш простих верстатів.

У результаті аналізу переваг використання комбінованих інструментів, нами була розроблена конструкція комбінованої торцевої фрези (рис. 8).

На шпинделі верстата закріплений гвинтами 16 корпус першої сходинки 1, на який кріпиться диск 3 за допомогою гвинтів 2. В диску 3 встановлено двадцять різальних ножів 4, які можна регулювати диференційними гвинтами 13. Ножі 4 на диску 3 закріплені клинками 19 за допомогою гвинтів 18 та пружини 20. До корпусу 1 кріпиться корпус другої сходинки 14 гвинтами 17, в пазах якого кріпляться вісім корпусів ножів 9, в яких за допомогою клинків 7 та гвинтів 6 кріпляться різальні ножі 8 з можливістю регулювання вильоту диференційними гвинтами 5. Виліт корпусів ножів регулюється гвинтами 11, які спираються на циліндричну вставку 12 і фланець 10. Корпуси ножів 9 притискаються до корпусу другої сходинки 13 фланцем 10 і, таким чином, фіксуються за допомогою гвинтів 21.

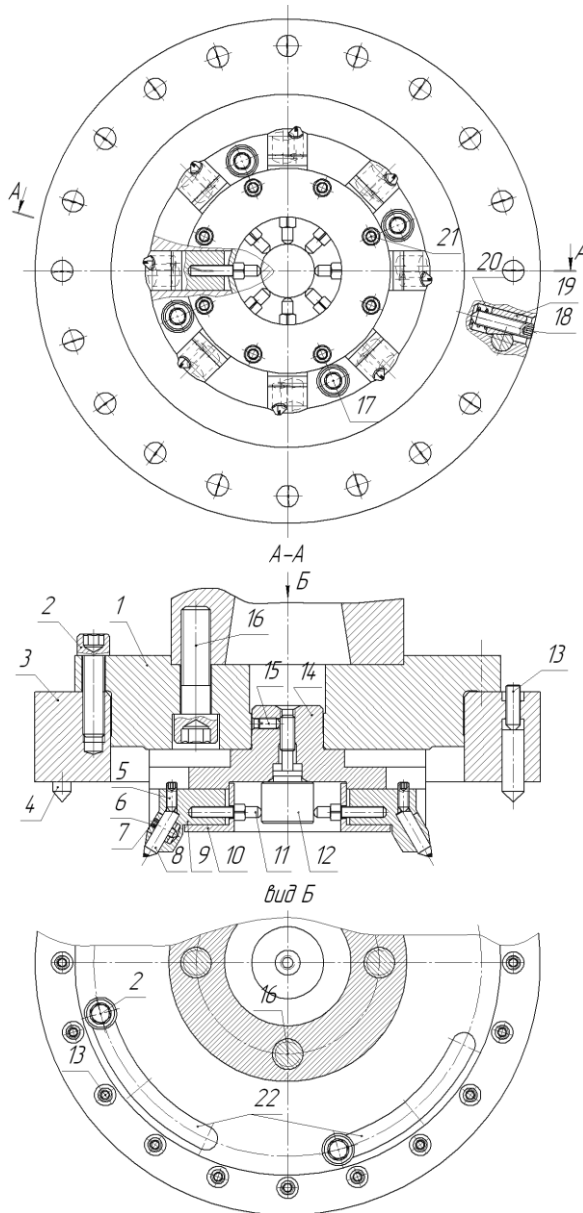


Рис. 8. Комбінована торцева фреза

При торцевому фрезеруванні відбувається періодична зміна складових сил різання, що призводить до виникнення в технологічній системі верстага вимушених коливань, які погіршують якість обробки, зменшують продуктивність і стійкість інструменту [10, 11]. Вплив зміни сил різання досліджувався в роботах [12, 13] через коефіцієнт нерівномірності фрезерування. Оскільки у нашої фрези дві сходинки, тобто фактично це комбінація двох торцевих фрез різного діаметра, то виникло питання, як впливає взаємне розташування цих сходинок на коефіцієнт нерівномірності. Для цього в корпусі 1 існують пази 2, в які входять гвинти 2 при закріпленні диска 3. Це дозволяє повертати ступіні одна відносно одної на  $50^\circ$ . Завдяки цьому існує можливість регулювання періоду врізання ножів обох сходинок.

Фреза спроектована так, щоб мати можливість регулювати діаметр другої сходинки за допомогою гвинтів 11. Для зміни характеристик першої сходинки достатньо мати набір дисків 3 з необхідним розташуванням різальних ножів, які можна змінювати, не знімаючи фрези з верстага. Це надає інструменту певної універсальності, що дає можливість економії, виключає складову похибки базування, що виникають внаслідок переустановки інструменту.

Розроблена нами конструкція торцевої фрези дозволяє обробляти різноманітні поверхні заготовок за одну установку. Приклади таких поверхонь зображені на рисунку 9, а–б.

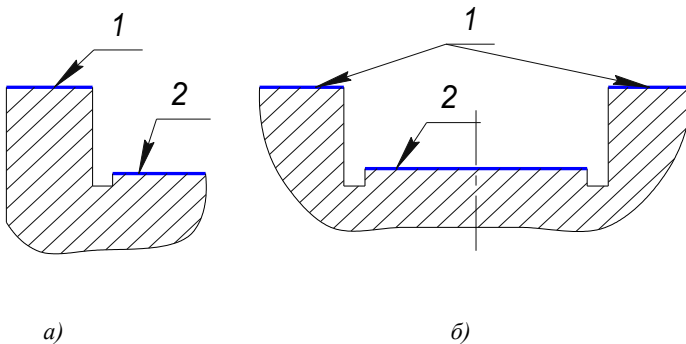


Рис. 9. Типи оброблюваних поверхонь

Щоб охарактеризувати переваги такої фрези перед звичайними конструкціями, було проведено порівняльне моделювання в програмі MatLAB 6.5 (а саме в середовищі Simulink) обробки деталі зображеної на (рис. 9, б). Як критерій вимірювання обрано коефіцієнт нерівномірності  $\mu$ , який визначається:

$$\mu = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\text{сер}}}, \quad (1)$$

де  $P_{\max}$  і  $P_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення сили різання, що виникає протягом всього часу моделювання відповідно;  $P_{\text{сер}}$  – середнє значення сили різання.

Чим менший коефіцієнт, тим менше розсіювання сил різання, тим стабільніше працює фреза, що дає змогу уникнути великих динамічних навантажень на ВПД та інших небажаних факторів, що погіршують умови обробки та якість деталі.

В роботі [13] було визначено, що найменші показники коефіцієнтів нерівномірності обробки має фреза, в якій на першій сходинці різальні ножі розташовані по логарифмічній спіралі, а на другій мають стандартне розташування. Саме така конструкція була взята для порівняння зі звичайною торцевою фрезою, яка оброблює тільки поверхню 1 (рис. 2, в).

Вихідні параметри сходинок фрези, що використовуються в моделюванні:

1. Перша сходинка діаметром  $D_{1CT} = 250$  мм з кількістю ножів  $Z = 20$  обробляє поверхню 1 (рис. 9, б) шириною  $B = 240$  мм.

2. Друга – діаметром  $D_{2CT} = 160$  мм з кількістю ножів  $Z = 8$  обробляє поверхню 2 (рис. 9, б) шириною  $b = 160$  мм.

Параметри звичайної фрези ідентичні параметрам першої сходинки комбінованої торцевої фрези.

Моделювання проводилося при  $S_z = 0,02$  м/зуб та  $V = 800, 1000$  та  $1200$  м/хв. За результатами було побудовано графік залежності коефіцієнта нерівномірності від швидкості фрезерування для фрез досліджуваних фрез (рис. 10).

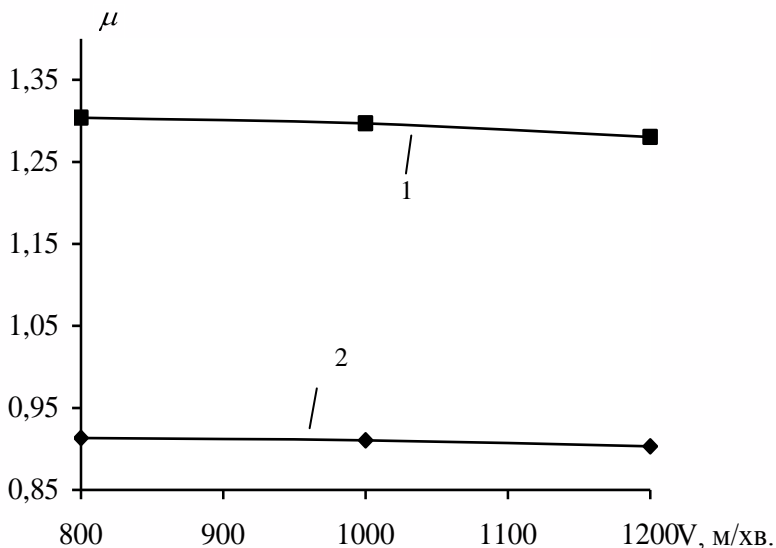


Рис. 10. Графік залежності коефіцієнта нерівномірності від швидкості фрезерування при подачі  $S_z = 0,02 \text{ мм/зуб.}$ ,

де 1 – ступінчаста торцева фреза з розташуванням різальних ножів по логарифмічній спіралі; 2 – комбінована торцева фреза, різальні ножі якої на першій сходинці розташовані по логарифмічній спіралі, а на другій мають стандартне розташування

Аналіз отриманих результатів показує, що найменший коефіцієнт нерівномірності має комбінована торцева фреза. Це означає, що така конструкція інструмента має перевагу перед звичайними торцевими фрезами, оскільки дає можливість проводити обробку з меншими динамічними навантаженнями, що призводить до покращення якості обробленої поверхні. Додавши до цього описані переваги комбінованих інструментів, можна зробити висновок, що розроблена нами конструкція є актуальною, враховуючи тенденції до суміщення операцій в сучасному машинобудуванні.

**Перспективи.** В подальшому планується ряд експериментальних досліджень розробленого інструмента, а саме: підтвердження переваг одночасної обробки паралельних поверхонь перед послідовною обробкою, визначення режимів різання, які б забезпечували максимальну стійкість різальних ножів обох сходинок. У зв'язку з тим, що ножі розташовані на двох різних за діаметром сходинок, потрібно

забезпечити таке їхнє взаємне розташування і геометрію, щоб досягти найменших динамічних навантажень на технологічну систему.

**Висновок.** Проведено аналіз особливостей та переваг комбінованого інструмента та інструмента, оснащеного НТМ, в результаті була розроблена конструкція комбінованої торцевої фрези для одночасної обробки двох паралельних поверхонь.

### Список використаної літератури:

1. *Граница В.А.* Применение комбинированного инструмента на многоцелевых станках / *В.А. Граница, В.Е. Карпусь* // Мир техники и технологий. – 2003. – № 5. – С. 36–37.
2. *Жарликов Н.В.* Комбинированный металлорежущий инструмент / *Н.В. Жарликов*. – М. : Машиностроение, 1961.
3. *Свиринський Р.М.* Чистова обробка площин чавунних деталей фрезами з ельбору-Р / *Р.М. Свиринський* // Станки і інструмент. – 1976. – № 9. – С. 18–20.
4. *Боровский Г.В.* Гамма торцевых фрез для автоматизированного оборудования / *Г.В. Боровський, Е.А. Филиппова, С.К. Беляев* // Станки и инструмент. – 1989. – № 9. – С. 20–23.
5. *Мельничук П.П.* Дослідження процесу фінішної обробки плоских поверхонь деталей торцевою фрезою з комбінованою схемою різання та вигладжування / *П.П. Мельничук, Г.М. Виговський, В.Ю. Лосєв* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2004. – № 1(28). – С. 44–53.
6. *Виговський Г.М.* Розрахунок сил різання при обробці деталей ступінчастими торцевими фрезами косокутного різання / *Г.М. Виговський, П.П. Мельничук, О.А. Громовий* // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 1999. – № 11. – С. 56–66.
7. А. с. 804236 СССР, МКІ В 23 С 5/06. Торцовая ступенчатая фреза / *И.А. Ординарцев, В.В. Филиппов, Г.Л. Хаеи и В.С. Гузенко* (СССР). – № 2610618/25-08 ; Заявл. 04.05.78 ; Опуб. 15.02.81, Бюл. № 6. – 2с.
8. А.с. 837608 СССР, МКІ В 23 С 5/06. Торцовая ступенчатая фреза / *В.И. Баранчиков* (СССР). – № 2829391/25-08 ; Заявл. 18.10.79 ; Опубл. 15.06.81, Бюл. № 22. – 2 с.
9. *Виговський Г.М.* Існуючі конструкції комбінованих лезових інструментів. Їх класифікація / *Г.М. Виговський, О.А. Громовий, О.В. Мельник* // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. – 2006. – Вип. 3. – С. 246–258.

10. *Виговський Г.М.* Коливання сил різання при обробці деталей торцевими ступінчастими фрезами / *Г.М. Виговський* // Вісник ЖІТІ / Технічні науки. – 1998. – № 9. – С. 28–32.
11. *Сенькин Е.Н.* Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами / *Е.Н. Сенькин, Г.В. Филиппов, А.В. Колядин.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. – 63 с. : ил.
12. *Бушля В.М.* Моделювання миттєвих значень сил різання при глибинному торцевому фрезеруванні інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами / *В.М. Бушля, Г.М. Виговський* // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. пр. – 2005. – Вип. 1. – С. 20–31.
13. *Виговський Г.М.* Моделювання обробки деталі типу салазок двоступінчастою комбінованою торцевою фрезою / *Г.М. Виговський, О.А. Громовий, О.В. Мельник* // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2005. – № 4(35). – С. 14–22.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з організаційно-навчальної роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

КОВАЛЬОВ Володимир Володимирович – старший викладач кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

МЕЛЬНИК Олексій Володимирович – інженер кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;



- обробка плоских поверхонь комбінованим інструментом.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2012

Работа посвящена анализу преимуществ комбинированных инструментов, разработке и оптимизации конструкции торцевой фрезы для одновременной обработки параллельных плоских поверхностей деталей

Design of combined face mill for simultaneous machining of parallel flat surfaces of parts

The work analyzes the advantages of combined tools, the design and optimization design of face milling cutter for simultaneous processing of parallel flat surfaces of parts