

УДК 621.914

**ВИСОКОШВИДКІСНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

© Я.О. Шахбазов, М.Л. Білявський, А.Є. Стецько

*Українська академія друкарства, вул. Підголокко, 19, Львів, 79020, Україна*

*У роботі проведений аналіз існуючих конструкцій торцевих фрез придатних для реалізації технології високошвидкісного різання; на підставі проведених досліджень запропонована прогресивна конструкція торцевої фрези.*

**Постановка проблеми.** Підвищення точності обробки різанням і зменшення похибки форми деталей машин на сьогоднішній день забезпечується за рахунок одночасного збільшення швидкості різання і жорсткості технологічної системи. При порівняно невеликих частотах обертання шпинделів металорізальних верстатів ( $n=1500 \div 2000 \text{ хв}^{-1}$ ) такий підхід був єдино правильним. Однак останнім часом швидкість різання і пов'язана з нею частота обертання шпинделів різко збільшилися, і ця тенденція стала домінуючою у світовому верстатобудуванні. Дійсно, збільшення швидкості різання веде до підвищення продуктивності верстатів і точності обробки, при експлуатації прогресивних конструкцій різальних інструментів.

Аналізуючи літературні джерела [1-15] можливо визначити основні вимоги, яким повинні задовольняти конструкції торцевих фрез для умов реалізації високошвидкісного різання: надійність і міцність кріплення різців у корпусі фрези; надійність і міцність закріплення самої фрези в шпинделі фрезерного верстата; простота і доступність загострення фрези; можливість точної установки різців в осьовому і радіальному напрямках у корпусі фрези; простота виготовлення й експлуатації фрези. Слід відзначити, що на сьогоднішній день провідні світові компанії по виробництву металообробного інструмента зорієнтували свою продукцію на можливість реалізації технології високошвидкісного різання.

З метою поліпшення якості своєї продукції проводиться вдосконалення прогресивних конструкцій різальних інструментів.

**Мета досліджень.** Провести аналіз існуючих конструкцій торцевих фрез придатних для реалізації технології високошвидкісного різання. На підставі проведених досліджень запропонувати прогресивну конструкцію торцевої фрези та визначити прогресивні напрямки розвитку технології високошвидкісного торцевого фрезерування.

**Виклад основного матеріалу.** За останні роки розроблена велика кількість різноманітних конструкцій торцевих твердосплавних фрез для швидкісного фрезерування, які добре зарекомендували себе в роботі.

Для оснащення різальних частини торцевих фрез [5] застосовують твердосплавні пластини різних форм і розмірів (рис. 1).

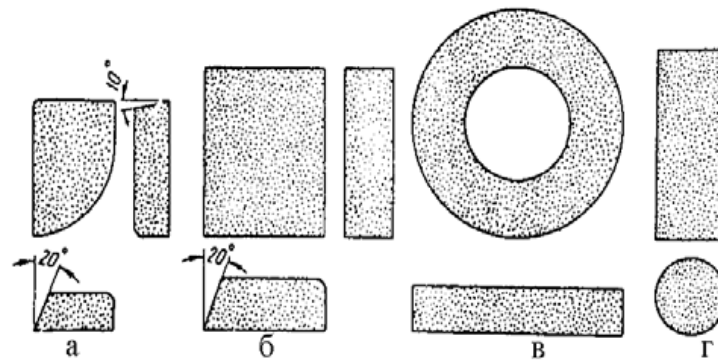


Рис. 1. Форми твердосплавних пластин, що використовуються для оснащення різальної частини торцевих фрез (а – пластина фасонна; б – пластина прямокутна; в – твердосплавний диск; г – твердосплавний циліндр-стовпчик)

На рис. 1,а представлена пластина твердого сплаву форма 10, що застосовується на торцевих фрезах з напаяними вставними різцями. Найбільше поширення мають пластинки 1027; 1029 і 1031.

На рис. 1,б показана пластина твердого сплаву форма 01 і 02, що застосовується на торцевих фрезах з механічним кріпленням. Застосовуються пластини: 0125 для торцевих фрез діаметром більш 160 мм і 0231 і 0237 для торцевих фрез діаметром до 90 мм.

Твердосплавні диски (рис. 1,в) застосовують на торцевих фрезах головним чином з механічним кріпленням. Ці диски в напаяному виді (на сталеві циліндричної форми різців) застосовують досить обмежено. Твердосплавні диски виготовляють із зовнішнім діаметром 30 – 40 мм, отвором діаметром 16 мм і товщиною 5 – 6 мм. При механічному кріпленні твердосплавних дисків для роботи придатні обидва торці диска.

Твердосплавні циліндри-стовпчики (рис. 1,г) застосовують на торцевих фрезах тільки з механічним кріпленням. Їх, так само як і твердосплавні диски, виготовляють за спеціальним замовленням. Циліндричні стовпчики мають діаметр 8 – 12 мм і довжину 25 – 30 мм.

Залежно від способу кріплення твердого сплаву розрізняють:

1). Фрези торцеві монолітні з пластинками твердого сплаву [8], напаяними безпосередньо на корпус фрези (рис. 2).

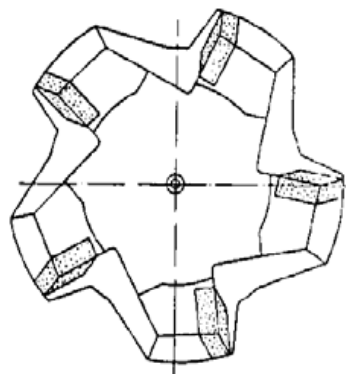


Рис. 2. Зубці монолітної торцевої фрези з напаяними пластинами твердого сплаву

2). Фрези торцеві збірні з пластинками твердого сплаву [5], напаяними на призматичні різцеві державки (рис. 3).

3). Фрези торцеві [8] з механічним кріпленням твердосплавних дисків (рис. 4.І), призматичних пластин (рис. 4.ІІ), циліндричних стовпчиків (рис. 4.ІІІ) і пластин інших форм безпосередньо до корпусу фрези.

Фрези торцеві з пластинками твердого сплаву, напаяними безпосередньо на корпус, мають істотні недоліки. Відновлення таких фрез за допомогою загострення спрацьованого в роботі різця призводить до зрізання значної частини твердого сплаву з всіх інших різців, що викликає нераціональне використання твердого сплаву і до значних витрат часу на загострення. При великому ж руйнуванні пластинок твердого сплаву на окремих різцях такої фрези приходится робити повторну напайку пластинок, унаслідок чого корпус таких торцевих фрез має досить обмежений термін служби.

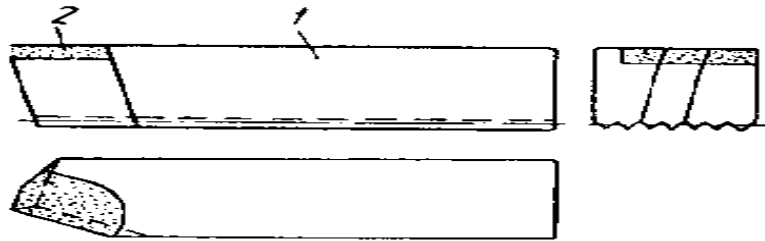


Рис. 3. Різець торцевої фрези з напайною пластинкою з твердого сплаву (1 – державка різця; 2 – пластина твердого сплаву)

Таким чином, найбільшого поширення одержали торцеві збірні фрези з призматичними напаяними різцями (рис. 3).

А в даний час широкого поширення набувають також фрези з механічним кріпленням твердого сплаву безпосередньо до корпусу фрези.

При механічному способі кріплення ліквідується брак інструмента через тріщини, що утворюються при напайці внаслідок появи внутрішніх напружень у твердому сплаві, матеріалі державки; скорочується час на заміну різців фрези, що затупилися, новими і т.д. При окремих способах механічного кріплення твердого сплаву (рис. 4.1 і 4.3) заміну різців, що затупилися, гострими можна робити, не знімаючи фрези з верстату. Це досить суттєва обставина сприяє значному зниженню витрат часу на загострення, розширюються можливості застосування твердого сплаву марки Т30К4.

Основною перешкодою для застосування цього сплаву, як відомо, є відколи і викришування пластинок унаслідок появи в них при напаяванні мікроскопічних тріщин.

Залежно від форми різців розрізняють:

1). Фрези торцеві з вставними призматичними різцями (див. рис. 3) з напаяними пластинами твердого сплаву.

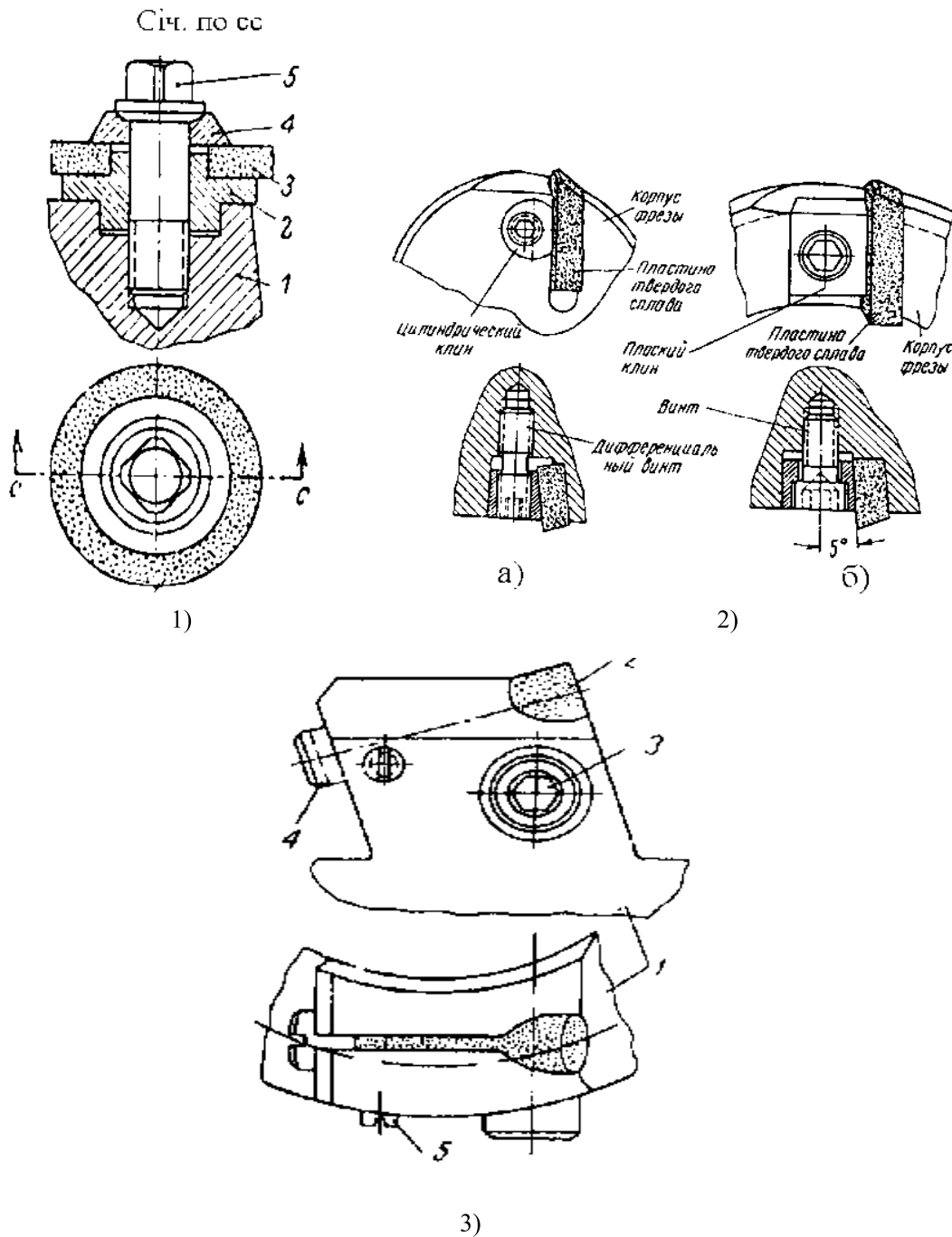


Рис. 4. Вузол механічного кріплення різального ножа: 1 - твердосплавного диску (1 – корпус фрези; 2 – шайба упорна; 3 – твердосплавний диск; 4 – сферична шайба; 5 – кріпильний гвинт); 2 - призматичних пластин твердого сплаву (а – кріплення циліндричним клином і диферинційним гвинтом; б – кріплення плоским клином і гвинтом); 3 - циліндричного стовпчика (1 – корпус фрези; 2 – твердосплавний циліндричний стовпчик; 3 – кріпильний гвинт; 4 – упорний гвинт; 5 – стопорний гвинт)

2). Фрези торцеві з поворотними шайбоподібною форми твердосплавними дисками, напаяними на циліндричні різці (рис. 5), або механічно закріпленими на корпусі фрези (рис. 4).

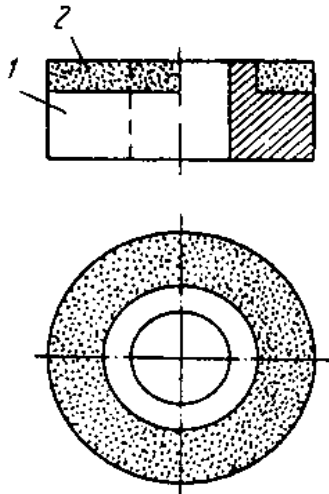


Рис. 5. Різець циліндричний поворотний з напайним твердосплавним диском (1 – державка різця; 2 – твердосплавний диск)

3). Фрези з механічним кріпленням призматичних пластинок твердого сплаву (рис. 4.2). Показане на рис. 4.2,а механічне кріплення пластинки твердого сплаву до корпусу здійснюється за допомогою циліндричного клина і диференціального гвинта. На рис. 4.2,б показане механічне кріплення за допомогою звичайного гвинта і призматичного клина.

4). Фрези з механічним кріпленням циліндричних твердосплавних стовпчиків (рис. 4.3).

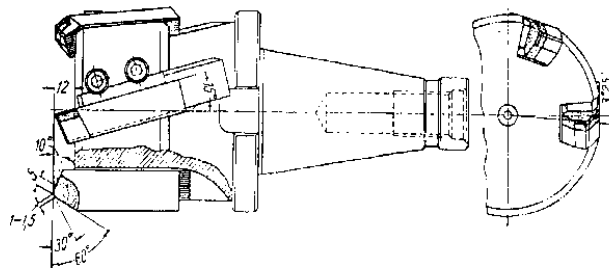
Залежно від способу установки різців в осьовому і радіальному напрямках розрізняють:

1). Фрези торцеві нормальні, у яких усі різці в корпусі розташовуються на одному радіусі в радіальному напрямку і на одній висоті в осьовому напрямку.

2). Фрези торцеві ступінчасті, у яких усі різці або частина їх розташовані на різних радіусах у радіальному напрямку і різних висотах в осьовому напрямку.

Фрези торцеві з призматичними вставними різцями виготовляються цільними і конічним хвостовиком (рис. 6, а), коли діаметр фрези не перевищує 110 мм, і насадними (рис. 6, б), коли діаметр більше 110 мм.

У торцевих фрез діаметром до 110 мм хвостовик складає одне ціле з корпусом фрези, що дозволяє розмістити в корпусі необхідну кількість різців і забезпечити йому при цьому достатню міцність.



а)

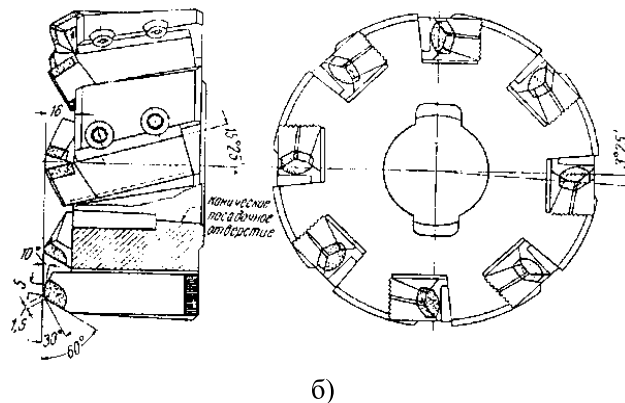


Рис.6. Торцева фреза (а - конічний хвостовик; б – з конічним посадочним отвором)

Фрези торцеві насадні виготовляють з конічним посадочним отвором (рис. 6, б), яким вони насаджуються на конус 1 фрезерного оправки (рис. 10) і за допомогою вкладиша 2 і гвинта 3 закріплюються на ній, а також з циліндричним посадочним отвором (рис. 7), яким вони насаджуються безпосередньо на шпиндель фрезерного верстату [8].

У першому випадку кріплення оправки разом з торцевою фрезою до шпинделя фрезерного верстату виконується за допомогою затяжного болта шляхом закручування його в різьбовий отвір оправки 4 (рис. 7,а) або за допомогою гвинтів 5 (рис. 7,б) шляхом закручування їх у різьбові отвори, що виконані на торці шпинделя.

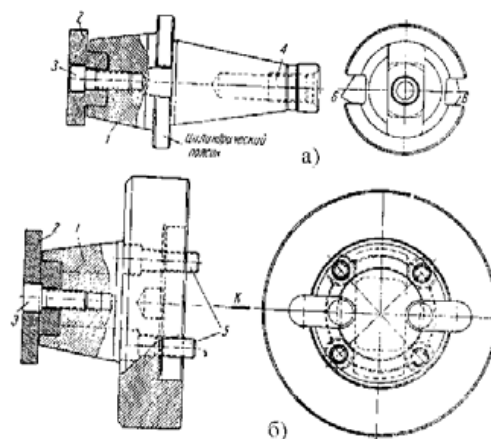


Рис. 7. Оправки для закріплення торцевих фрез до шпинделя фрезерного верстату (а – кріпиться в конічному отворі шпинделя фрезерного верстату; б – кріпиться до торця шпинделя фрезерного верстату)

Для запобігання від провертання фрезерної оправки в конусному отворі шпинделя фрезерного верстату по циліндричному її паску (рис. 7,а) є два пази б, у які при кріпленні оправки входять сухарі, що виконані на торці шпинделя фрезерного верстату.

У другому випадку фреза кріпиться безпосередньо до торця шпинделя фрезерного верстату за допомогою чотирьох гвинтів, аналогічно кріпленню фрезерної оправки (див. рис. 7,б).

Найбільш точно центрування фрези на шпинделі фрезерного верстата, а отже, і найменше биття зубів у роботі забезпечують фрези з конічним хвостовиком.

Поперечний переріз призматичних різців торцевої фрези варто встановлювати залежно від вильоту різця з корпуса фрези і глибини гнізда під пластину твердого сплаву.

Для кращого опору вібраціям торцевої фрези виліт різців з корпуса фрези повинний бути мінімальним і, разом з тим, цілком достатнім для здійснення безперешкодного загострення по задніх поверхнях різців у зборі.

У сучасних конструкціях торцевих фрез [1-5, 12-15] кріплення різців у корпусі здійснюється найрізноманітнішими способами. До основних з них варто віднести:

1). Кріплення різців [8] за допомогою болтів у відкритому пазу (рис. 8,а) і закритому пазу (рис. 8,б).

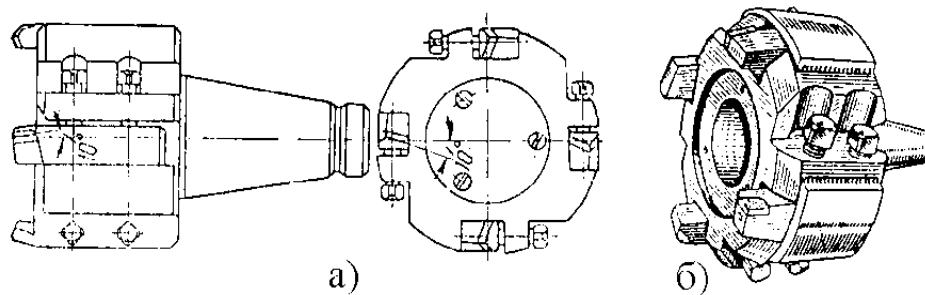


Рис. 8. Кріплення різців торцевої фрези болтами (а – у відкритих пазах; б – у закритих пазах)

Головними недоліками торцевих фрез із кріпленням різців болтами є неможливість розмістити в корпусі фрези достатнє число різців, що робить їх малопродуктивними і той факт, що виникаючі в процесі фрезерування сили, діючи на болти, послабляють кріплення різців і роблять роботу небезпечною.

Через зазначені причини фрези з кріпленням різців болтами не можуть бути рекомендовані для швидкісного фрезерування.

2). Кріплення різців з допомогою гвинтів (рис. 9). Такий спосіб кріплення різців може бути рекомендований тільки для фрез невеликих розмірів, коли інші способи кріплення через малий габарит корпуса фрези утруднений. У цьому випадку пази під різці повинні бути закритого типу.

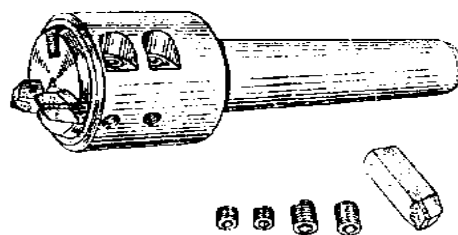


Рис. 9. Кріплення різців торцевої фрези гвинтами

3). Кріплення за допомогою гладкого клина (рис. 10, а). При кріпленні різців цим способом клин забивається в паз корпусу.

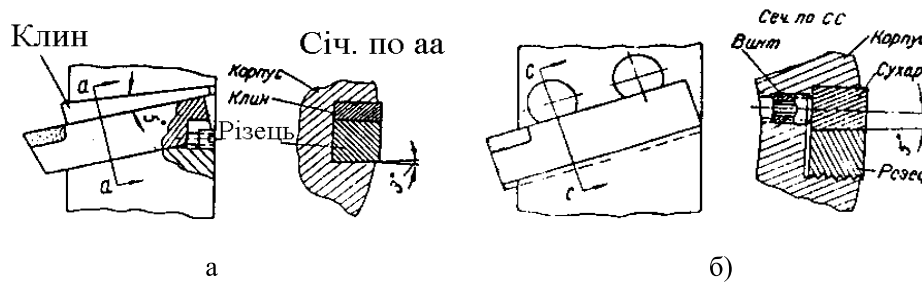


Рис. 10 Кріплення різальних ножів за допомогою: а – гладкого клина; б – сухарів

Такий спосіб кріплення вимагає досить точного пригону поверхонь різця, що сполучаються, клина і паза в корпусі фрези.

4). Кріплення різців за допомогою сухарів (рис. 10, б). Сухарі під вид циліндрів зі зрізом під кутом  $5^\circ$  розташовуються в радіальному напрямку. Наявність двох гвинтів забезпечує надійне кріплення різців по всій їхній довжині.

5). Кріплення різців [7] за допомогою плоских клинів і гвинтів з циліндричною голівкою (рис. 11). При цьому способі кріплення поверхні різців, що сполучаються, і пазів під різці можуть бути гладкими (рис. 11.1, а).

6). Кріплення різців за допомогою затяжного болта з клиновою голівкою (рис. 11.2). Перевага фрез з подібним способом кріплення різців полягає в тому, що в них одним болтом закріплюється одночасно два різці, завдяки чому є можливість розмістити в корпусі фрези велике число різців.

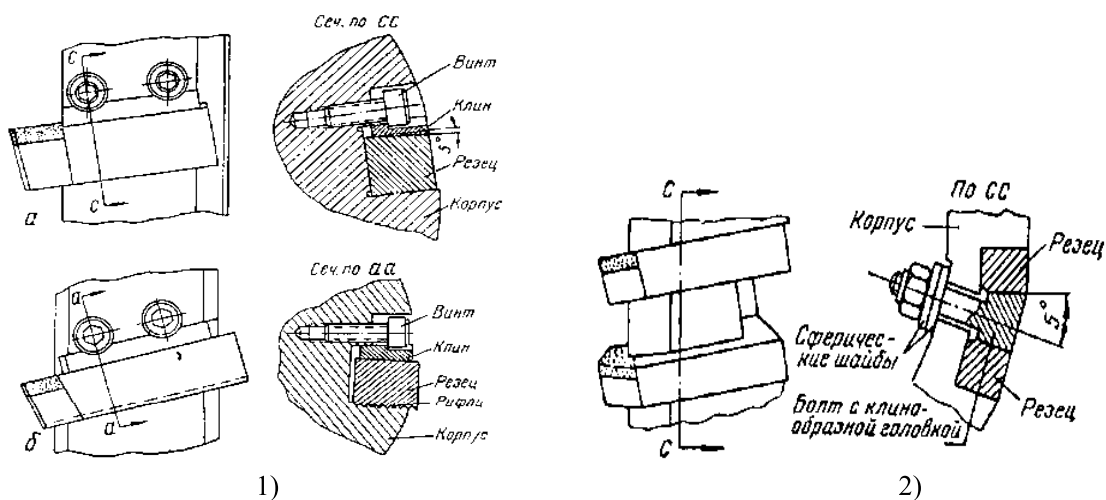


Рис. 11. Кріплення різців торцевої фрези: 1 - за допомогою плоских клинів і гвинтів (а – кріплення без рифлень; б – кріплення з рифленнями), 2 - за допомогою затяжного гвинта з клиноподібною голівкою

Основна відмінність торцевих ступінчатих фрез від звичайних торцевих фрез із призматичними різцями тільки в розташуванні різців в осьовому і радіальному напрямках (рис. 12).

Торцеві ступінчаті фрези можуть мати дві, три, чотири і більше ступенів, що призначаються залежно від припуску на обробку, розмірів фрези, потужності електродвигуна фрезерного верстата, твердості оброблюваної деталі та ін.



Для забезпечення торцевій ступінчатій фрезі нормальних умов роботи необхідно, щоб різці однієї ступені були розташовані у визначеному відношенні до різців іншої ступені як в осьовому, так і в радіальному напрямках.

Торцеві ступінчаті фрези доцільно застосовувати в наступних випадках:

а) коли за технологічними умовами обробки потрібно за один прохід зняти з деталі припуск такої величини, що звичайною фрезою може бути знятий тільки за кілька проходів;

б) коли потужність фрезерного верстата недостатня для фрезерування нормальною багатозубою торцевою фрезою;

в) коли жорсткість оброблюваної деталі, пристосування, у якому закріплена деталь, і самого фрезерного верстата недостатня для роботи нормальною торцевою багатозубою фрезою.

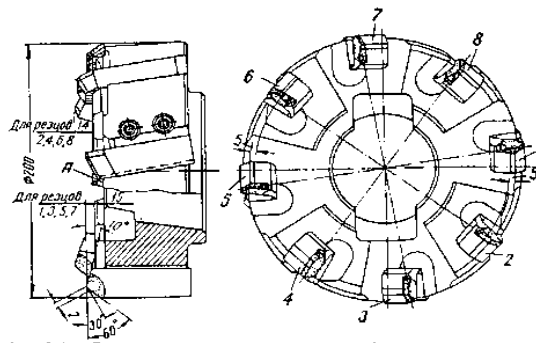


Рис. 12. Торцева фреза двохступінчатая насадна із вставними різцями 1,3,5,7 – різці першої ступені; 2,4,6,8 – різці другої ступені

Крім торцевих фрез із призматичними різцями, широке застосування для швидкісного фрезерування сталей одержали торцеві фрези з поворотними різцями.

Як приклад, можна привести фрезу конструкції Л.В. Ємельянова і К.І. Сокольского (рис. 13, а), фрезу конструкції Є.А. Белова (рис. 13, б) і фрезу, удосконалену В.Д. Сердюком.

Торцева фреза, зображена на рис. 13.а, має різці у виді дисків з напаяними кільцями твердого сплаву. Ці різці загострюють поза корпусом фрези і притому тільки по передній поверхні, тобто так, як загострюють звичайні дискові різці, застосовувані, наприклад, на токарних автоматах. Установка різців у корпусі цієї фрези виконується за шаблоном. Зміна величини переднього кута у фрези здійснюється поворотом різця щодо його осі.

Фрезу (рис. 13.а) автори рекомендують застосовувати для напівчистового і чистового фрезерування. До недоліків конструкції наведеної конструкції фрези слід віднести: складність напайки твердосплавних кілець; неекономічна витрата твердого сплаву при загостренні (особливо при обробці сталей, коли знос різців відбувається тільки по задній поверхні, а загострення їх можливе тільки по передній поверхні); складність установки різців і корпусі фрези з урахуванням припустимого биття. Але за стійкістю ці фрези не мають ніяких переваг порівняно зі звичайними фрезами.

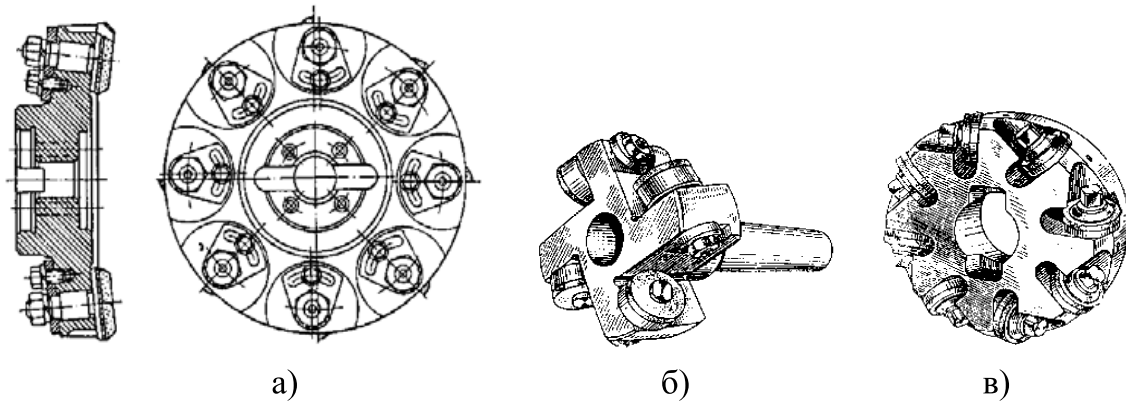


Рис. 13. Фреза торцева із твердосплавними кільцями (а - конструкції Л.В. Ємельянова і К.І. Сокольського; б - Є.А. Белова; в - В.Д. Сердюка)

При фрезеруванні фрезою (рис. 13.б) в роботі бере участь приблизно  $\frac{1}{6}$  -  $\frac{1}{8}$  частина кола різців. При спрацюванні цієї частини різців їх повертають і вводять у роботу нові частини з гострими кромками, що різуть. Таким чином, період стійкості у фрези цієї конструкції в 6 – 8 разів більше, ніж у фрези звичайної конструкції. Загострення різців виконується поза корпусом фрези на круглошліфувальному верстаті. Одночасно загострюється весь комплект різців, що забезпечує одержання однакового їхнього діаметра. До основних недоліків конструкції фрези (рис. 13.б) слід віднести те, що в корпусі фрези розміщується менша кількість різців; різці не мають точної фіксації в корпусі; установка (перестановка) різців є складною (різці при затягуванні болта можуть зрушуватися, а отже, можуть виходити з норм биття).

Перераховані вище недоліки відсутні у конструкції торцевої фрези В.Д. Сердюка (див. рис. 13.в).

До основних переваг торцевої (рис. 13.в) варто віднести:

1). Фреза має надійне механічне кріплення твердосплавних різців, що забезпечує їхню точну установку в корпусі фрези без застосування шаблонів.

2). Зрушення різців при кріпленні їх у корпусі, а також при роботі фрези, виключені.

3). При спрацюванні різців можна легко зробити їхню перестановку (поворот), не знімаючи фрези з верстата.

4). Коли різці спрацьовуються по всьому колу одного торця, здійснюється їхня перестановка для роботи кромкою іншого торця, що різє.

5). Період стійкості цих фрез між переагострюваннями вище періоду стійкості фрез із призматичними різцями приблизно в 8 – 10 разів при роботі одною стороною й у 15 – 20 разів при роботі обома сторонами твердосплавних різців.

Представлені результати аналізу існуючих конструкцій торцевих фрез (рис. 13) дають можливість розробити класифікацію.

На підставі розробленої класифікації (рис. 14) можливо встановити основні пріоритетні шляхи розвитку конструкцій торцевих фрез придатних для реалізації високошвидкісного різання: 1) використовувати нові матеріали корпусу

комбінованого інструмента, наприклад сталеві фібробетон; 2) реалізувати технологію різання з попереднім пластичним деформуванням; 3) провести одночасну обробку двох та трьох площин – дозволяє зменшити вплив похибки базування інструмента на точність оброблених поверхонь та підвищити продуктивність обробки за рахунок зменшення оперативного часу; 4) конструювати різальні елементи торцевої фрези зі змінною жорсткістю, що дасть можливість зменшити вібрації формують елементів та підвищити його працездатність; 5) розробити прогресивні способи видалення стружки із зони різання; 6) запропонувати конструкції самобалансуючих торцевих фрез.

Враховуючи той факт, що існують прогресивні інструментальні матеріали: надтверді матеріали та мінералокераміка, виникає завдання раціонального використання таких матеріалів в умовах високошвидкісного торцевого фрезерування. Для цієї мети авторами було запропоновано новий спосіб кріплення, який представлений нижче.



Рис. 14. Класифікація торцевих фрез

Регулювання положення вузла кріплення конічного (циліндричного) різального ножа, оснащеного надтвердим матеріалом відносно оброблюваної поверхні відбувається безпосередньо в корпусі фрези.

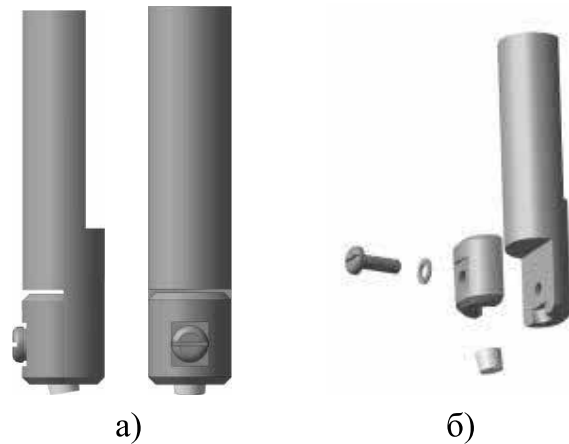


Рис. 15. Вузол кріплення конічного різального ножа, оснащеного надтвердим матеріалом (а - 3D модель – основні види; б - 3D модель – схема складання)

**Висновки.** Проведений аналіз існуючих конструкцій торцевих фрез придатних для реалізації технології високошвидкісного різання дав можливість провести їх класифікацію та визначити прогресивні напрямки вдосконалення.

Запропонована нова схема кріплення інструментального матеріалу дозволяє збільшити ресурс різального ножа за рахунок особливостей кріплення.

### Список використаних джерел

1. Білявський М.Л. Технологічне забезпечення якості обробки сталевих деталей комбінованим торцевим фрезеруванням: Автореф. дис. канд. техн. наук, – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2010. – 20с.
2. Бойм Н.Г., Соколов И.Н. Применение лезвийного инструмента из СТМ и минерало-керамики в станкостроении// Станки и инструменты. – 1984. – № 7. – С. 14–16.
3. Боровский К.В., Музыкант Я.А. Торцовые фрезы с ножами из композита// Станки и инструменты. – 1977. – № 2. – С. 9–11.
4. Виговський Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь: Автореф. дис. канд. техн. наук, – Київ: НТУУ “КПІ”, 2000. – 16с.
5. Громовий О.А. Розробка чистових косокутних торцевих фрез з комбінованими схемами різання. Дис. канд. техн. наук: 05.03.01. ЖІТІ. –К., 2002. -172с.
6. Інструмент з надтвердих матеріалів / Під ред. М.В. Новікова. – Київ. ІНМ НАНУ, 2001.–528с.
7. Карюк Г.Г. Технологические особенности механической обработки режущим инструментом из сверхтвёрдых материалов.: Наукова думка, 1991. – 283с.
8. Лещинер Я.А., Ильин В.В. Лезвийный инструмент из сверхтвёрдых материалов. – К.: Техника, 1981. – 120с.
9. Малышко Н.А. Применение инструментов из сверхтвёрдых материалов в автомобильном производстве // Станки и инструмент. – 1984. - №11 – С. 22 – 24.

10. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь: Дис. докт. техн. наук: 05.03.01.–К., 2002.–456с.
11. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Силы и мощность при обработке металлов торцевыми фрезами из СТМ //Сверхтвердые материалы. – 1988. - № 1. – С. 47-50.
12. Свиринский Р.М. Фрезерование чугунных деталей инструментом, оснащенным СТМ, взамін шлифования // Станки и инструмент. – 1980. - №9. – С. 25-28.
13. Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами. Деклараційний патент на винахід № 63517А. Україна. 7В23С3/00, Виговський Г.М., Лоев В.Ю., Мельничук П.П. № 2003043853; Заявл. 25.04.2003. Опубл. 15.01.2004. Бюл. №1.-3с.
14. Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами: Деклараційний патент на винахід №40156А. Україна, В23С3/00/, Г.М. Виговський, О.А. Громовий, В.Ю. Лоев, П.П. Мельничук. № 2000074236; Заявл. 17.07.2000. Опубл. 16.07.2001, Бюл. № 16.–3с.
15. Спосіб плоского фрезерування торцевими фрезами: Патент України на винахід №84478. Україна, В23С3/00/, П.П. Мельничук, В.Ю. Лоев, Є.В. Салогуб. № а200700041; Заявл. 02.01.2007. Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 16.–3с.

### References

1. Bilyavs'kyu M.L.(2010). Tekhnolohichne zabezpechennya yakosti obrobky stalevykh detaley kombinovanyum tortsevym frezeruvanniam: Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk, – L'viv: NU "L'vivs'ka politekhnik" 20s. (in Ukrainian)
2. Bojm N.G., Sokolov I.N. (1984). Primenenie lezvijnogo instrumenta iz STM i mineralokeramiki v stankostroenii// Stanki i instrumenty. — № 7. – С. 14–16. (in Russian)
3. Borovskij K.V., Muzykant Ja.A. (1977). Torcovye frezy s nozhami iz kompozita// Stanki i instrumenty. — № 2. – С. 9–11. (in Russian)
4. Vyhovs'kyu H.M. (2000). Pidvyshchennya pratsezdatsnosti tortsevvykh frez dlya chystovoyi obrobky ploskykh poverkhon': Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk, – Kyiv: NTUU "KPI". – 16s. (in Ukrainian)
5. Hromovyy O.A. (2002). Rozrobka chystovykh kosokutnykh tortsevvykh frez z kombinovanyumy skhemamy rizannya. Dys. kand. tekhn. nauk: 05.03.01. ZhITI. –К. -172s. (in Ukrainian)
6. Instrument z nadtverdykh materialiv / Pid red. M.V. Novikova. (2001).— Kyiv. INM NANU, 528s. (in Ukrainian)
7. Karjuk G.G. (1991). Tehnologicheskie osobennosti mehanicheskoy obrabotki rezhushhim instrumentom iz sverhtvjordyh materialov.: Naukova dumka,– 283s. (in Russian)
8. Leshhiner Ja.A., Il'in V.V. (1981). Lezvijnij instrument iz sverhtvjordyh materialov. – K.: Tehnika, – 120s. (in Russian)
9. Malyshko N.A. (1984). Primenenie instrumentov iz sverhtvjordyh materialov v avtomobil'nom proizvodstve // Stanki i instrument. — №11 – С. 22 – 24. (in Russian)
10. Mel'nychuk P.P. (2002). Naukovi osnovy chystovoho tortsevoho frezeruvannya ploskykh poverkhon': Dys. dokt. tekhn. nauk: 05.03.01.–К., 456s. (in Ukrainian)
11. Rozenberg A.M., Rozenberg O.A. (1988). Sily i moshhnost' pri obrabotke metallov torcevyimi frezami iz STM //Sverhtvjordye materialy. № 1. – С. 47-50. (in Russian)
12. Svirinskij R.M. (1980). Frezerovanie chugunnych detalej instrumentom, osnashhenjam STM, vzamin shlifovaniya // Stanki i instrument. №9. – С. 25-28. (in Russian)
13. Sposib ploskoho frezeruvannya tortsevymy frezamy. Deklaratsiynyy patent na vynakhid # 63517А. Ukrayna. 7V23S3/00, Vyhovs'kyu H.M., Loyev V.Yu., Mel'nychuk P.P. # 2003043853; Zayavl. 25.04.2003. Opubl. 15.01.2004. Byul. #1.-3s. (in Ukrainian)

14. Sposib ploskoho frezeruvannya tortsevymy frezamy: Deklaratsiynyy patent na vynakhid #40156A. Ukrayina, V23S3/00/, H.M. Vyhovs'kyy, O.A. Hromovyy, V.Yu. Loyev, P.P. Mel'nychuk. # 2000074236; Zayavl. 17.07.2000. Opubl. 16.07.2001, Byul. # 16.–3s. (in Ukrainian)
15. Sposib ploskoho frezeruvannya tortsevymy frezamy: Patent Ukrayiny na vynakhid #84478. Ukrayina, V23S3/00/, P.P. Mel'nychuk, V.Yu. Loyev, Ye.V. Salohub. # a200700041; Zayavl. 02.01.2007. Opubl. 27.10.2008, Byul. # 16.–3s. (in Ukrainian)

### HIGH SPEED PROCESSING OF MACHINE UNITS

Ya. Shakhbazov, M. Bilyavskiy, A. Stetsko

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine*

*The paper has analyzed the existing structures of end mills suitable for the realization of high-speed cutting technology; a progressive design of end mills has been suggested on the basis of the research.*

*Стаття надійшла до редакції 15.03.2016.*

*Received 15.03.2016.*