

УДК 621.9

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.
О.А. Громовий, асист.
В.В. Серов, к.т.н., доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТОРЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ

На основі теоретичного розгляду формоутворення плоских поверхонь деталей із високоміцних чавунів і загартованих сталей чистовим торцевим фрезеруванням визначені напрямлення удосконалення конструкцій фрез.

Корпуси механізмів, приладів, апаратів, а також опори, рами, станини складають більше 13 % масиву продукції машинобудування і металообробки. Матеріалом цих деталей є високоміцний чавун (більше 62 %) і загартована сталь (більше 17 %).

При цьому вимоги до точності обробки не перевищують V-VI квалітета для точності форми (ГОСТ 24643-81) і шорсткість поверхні деталі $R_a = 0,63 - 2,5$ мкм.

Для забезпечення підвищеної продуктивності їх фінішної обробки застосовуються чистові торцеві фрези, оснащені полісинтетичними надтвердими матеріалами (ПНТМ).

Чистова торцева фреза є вихідним тілом обертання, яке в процесі обробки торкається поверхні деталі і на торцевій поверхні якої утворені різальні ножі (РН) [1].

Формоутворення плоских поверхонь при чистовому торцевому фрезеруванні залежить від:

- схем фрезерування;
- геометрії різальних кромки ножів фрез;
- матеріалу різальної частини ножів.

1. Схеми торцевого фрезерування

При обробці плоских поверхонь використовуються схеми торцевого фрезерування, при яких видалення припуску здійснюється нерухомими відносно корпусу фрези ножами [2-5], а також ножами, що змінюють своє положення відносно корпусу фрези [6-9].

До статичних схем фрезерування можна віднести такі, при яких РН торцевих фрез нерухомі в процесі обробки, а до кінематичних і динамічних – схеми фрезерування, при яких РН рухаються в процесі обробки, причому для останньої рух РН здійснюється за допомогою регулюючих пристроїв, які здійснюють зворотний зв'язок [10].

Підвищення продуктивності та якості обробки чистовими торцевими фрезами зі статичними схемами різання досягається:

- 1) збільшенням можливого числа РН при зменшенні габаритів механізмів їх кріплення та регулювання, а також підвищення надійності фіксації РН у корпусі фрези [2, 3];
- 2) перерозподіленням подач на S_1 – для чорнових та S_2 – для чистових РН, де $S_1 > S_2$, що забезпечує менше навантаження чистових РН [4];
- 3) забезпеченням одночасного регулювання кутів у плані та осевого вильоту РН [5];
- 4) використанням фрезерування торцевими фрезами з полікристалічними надтвердими матеріалами, для яких відмічається малий розмірний знос і висока стійкість інструмента (до 100 мкм – при обробці сталей, і до 200 мкм – при обробці чавунів).

Недоліком статичних схем фрезерування є те, що за рахунок існуючих похибок базування та закріплення фрез і заготовок виникають похибки розташування РН фрез відносно координатних осей верстата. Це призводить до нерівномірного навантаження РН і сприяє їх підвищеному зношуванню. Крім цього, погіршена динаміка процесу фрезерування не дає можливості забезпечити очікувану якість оброблених поверхонь.

При цьому реалізується колова траєкторія контакту РН фрези із заготовкою. Шорсткість поверхні змінюється за шириною заготовки: мінімальна – в точках входу і виходу РН в зону різання, максимальна – при миттєвому куті контакту, рівному 90° .

До кінематичних схем фрезерування відносять конструкції [6, 7], в яких поєднані кінематичні рухи торцевої фрези та строгального різця. При її використанні зменшується не лише сумарна довжина обробки, а й основний час на обробку певної поверхні за рахунок зменшення "ширини" фрези при незмінному діаметрі. На шорсткість обробленої поверхні найбільший вплив має подача на зуб, а також її зміна при обробці. В даній конструкції подача

на зуб є сталою величиною, внаслідок чого сили, що діють на різальний ніж, не змінюватимуться. Це має призвести до зменшення або й зникнення періодичних коливань, тобто вібрацій, і до покращення якості обробленої поверхні.

Недоліком таких конструкцій є розтапування РН торцевої фрези на однаковому радіусі. Це збільшує вимоги їх взаємного розташування, оскільки існуючі радіальні биття призводять до схем різання лише окремими ножами. Також, за рахунок прямолінійної траєкторії РН різання відбувається з постійною в часі товщиною зрізу. Це призводить до виникнення удару при врізанні ножа, що негативно впливає на динаміку фрезерування.

Для динамічних схем різання [8, 9] властиві:

1) врівноваження осьових сил різання та стабілізації сил закріплення [8];

2) підвищення стійкості інструменту при саморегулюванні радіального положення РН за величиною сили різання безпосередньо у процесі роботи інструменту [9].

Існуючі конструкції торцевих фрез з динамічними схемами різання мають схильність до вібрацій, досить складні у виготовленні.

II. Основні параметри, які впливають на продуктивність і якість обробки торцевими фрезами, оснащеними ПНТМ

Чистова обробка плоских поверхонь деталей з вимогами до шорсткості в межах $R_a = 0,63 - 1,25$ мкм пред'являє високі вимоги до геометрії різальних ножів торцевих фрез.

В роботах [11, 12] визначається, що із геометричних параметрів різальної частини інструменту на шорсткість обробленої поверхні найбільше впливає головний кут в плані ϕ , передній кут γ та ширина або радіус перехідної (калібруючої) різальної кромки.

Для забезпечення зносостійкості ножів торцевих фрез для чистової обробки деталей із загартованих сталей і високоміцних чавунів рекомендується [11] негативний передній кут $\gamma = -10 - 15^\circ$, головний кут в плані $\phi = 30 - 45^\circ$, радіус при вершині ножа (0,3–1,0 мм).

Значно більшу стійкість практично при тих же параметрах шорсткості забезпечують різальні ножі, що мають радіус при вершині інструменту. При використанні інструменту з перехідною різальною кромкою, що паралельна обробленій поверхні, шорсткість знижується більш ніж у два рази. Шорсткість обробленої поверхні залежить від довжини зачисної кромки на ножі та її перпендикулярності до осі фрези.

Торцеве фрезерування є процесом переривчастого різання, який супроводжується ударами, що може призводити до підвищеного зносу і викривлення різальної кромки, а також створювати несприятливі умови для роботи верстата.

Для торцевого фрезерування характерні коливання товщини зрізу по дузі контакту різального ножа фрези з заготовкою, які змінюють величину складових сил різання, її напрям, призводять до похибок обробки деталей в напрямку, перпендикулярному до вектора подачі заготовки.

У повздовжньому напрямку (в напрямку подачі) похибки обробки пов'язані, насамперед, зі змінністю сил різання при врізанні і при виході фрези із контакту з заготовкою із-за змінності ширини фрезерування, при цьому змінюється кількість різальних ножів, що одночасно беруть участь в обробці, і виникають похибки повздовжнього профілю.

Матеріал різальної частини торцевих фрез повинен відповідати вимогам до забезпечення необхідної якості і продуктивності чистової обробки плоских поверхонь корпусних деталей із високоміцних чавунів і загартованих сталей.

III. Основні властивості та вимоги до інструментальних матеріалів чистових торцевих фрез

Загартовані сталі (45–58HRC₂) і високоміцні чавуни (160–220 HB) належать до класу важкооброблюваних матеріалів. Їх обробка пов'язана з високими динамічними навантаженнями на лезо інструменту, що пояснюється існуванням макронерівностей поверхонь деталей, а також неоднорідністю структури поверхневого шару. Це підвищує тепловиділення в зоні обробки. Тому велика увага приділяється правильному вибору інструментального матеріалу.

При точінні загартованих сталей і високоміцних чавунів в умовах переривчастого і суцільного різання як швидкорізальні сталі, так і тверді сплави є малоефективними. Швидкорізальні сталі мають низьку продуктивність ($V = 8 \dots 12$ м/хв) при точінні сталі 36НХТЮ ($\sigma_B = 1200$ МПа, 32...42HRC₂). Тверді сплави – більш продуктивні (ВК8В – $V = 23 \dots 40$ м/хв), але в умовах переривчастого різання загартованих сталей мають дуже

низьку стійкість. Також не можуть бути використані мінералокераміка (із-за її крихкості) та алмази (із-за сильної адгезійної взаємодії вуглецю з металами, що присутні в сталях (залізо, кобальт, нікель)) [11].

Найбільш ефективними для чистової обробки високоміцних чавунів і загартованих сталей є полісинтетичні надтверді матеріали на основі кубічного і вюрцитного нітриду бору, які експлуатуються в умовах переривчастого різання (гексаніт-Р, киборит та інші). Вони переважають швидкорізальні сталі та тверді сплави за продуктивністю ($V = 40 \dots 120$ м/хв для обробки сталей з $40 \dots 58HRC_s$) та стійкістю.

Властивостями, що визначають ефективне використання ПНТМ в різальному інструменті, є щільність, термостійкість, теплопровідність, теплоємність, твердість, міцність на стиск і згиб, модуль Юнга, тріщиностійкість.

За твердістю модифікації нітриду бору значно переважають інші класи інструментальних матеріалів: інструментальні сталі – в 8–20 разів, швидкорізальні сталі – в 7–13 разів, тверді сталі – 5–9 разів, мінералокераміку – в 3–5 разів в залежності від температури роботи [13].

ПНТМ відзначаються найнижчою з усіх інструментальних матеріалів міцністю на згиб: 0,3–0,5 ГПа, що в 5–7 разів менше найміцніших на згиб інструментальних сталей. Це обумовлює необхідність застосування негативної геометрії передніх кутів ножів різального інструмента і роботи матеріалу різальної частини в умовах стиску, де ПНТМ мають одну з найвищих міцностей – 2–6,5 ГПа.

Встановлено [13], що термостійкість модифікації нітриду бору знаходиться в межах 1100–1400°C. Це дає можливість застосовувати обробку на високих режимах різання.

ПНТМ на основі нітриду бору властива висока хімічна стійкість та хімічна інертність до заліза і чорних металів, найвища тріщиностійкість і щільність.

Збільшення межі міцності на стиск і зносостійкості різального інструмента, оснащеного ПНТМ, досягається при щільності ПНТМ в межах 3,39–3,44 г/м³.

Дослідженнями вітчизняних авторів встановлено, що найбільшу працездатність серед надтвердих матеріалів при торцевому фрезеруванні загартованих сталей ($45 - 58 HRC_s$) і високоміцних чавунів ($160 - 220 HB$) мають полікристали композита 10Д (гексаніту) і кибориту. Вони мають більш високі показники питомої сили контактної взаємодії і значно менше розсіювання міцнісних та деформаційних властивостей матеріалу.

Використання таких інструментальних матеріалів при обробці деталей в багатьох випадках відкидає необхідність їх наступного шліфування, оскільки при цьому досягається шорсткість оброблених поверхонь до $R_a = 0,08$ та точність по 5–6 квалітету. При цьому в поверхневому шарі створюються внутрішні напруження стиску глибиною до 70 мкм, відсутні характерні для шліфування дефекти: припали, структурні перетворення, шаржування поверхневого шару [14].

Встановлено, що катастрофічного зносу різального інструмента із гексаніту при фрезеруванні чавунів і сталей не відбувається. Процес фрезерування інструментом із гексаніту характеризується високою розмірною стійкістю. Відносний розмірний знос при фрезеруванні загартованої сталі 0,4–1,2 мкм/км в 20–30 разів менший, ніж при фрезеруванні з використанням твердосплавного інструмента. Це забезпечує точність розмірів в межах 6–7 квалітетів на 100–300 хв. різання.

На зносостійкість різального інструмента, оснащеного гексанітом-Р, значно впливають значення подач і глибини різання. При фрезеруванні загартованих сталей 64HRC і 50HRC максимально допустимими є подача 0,08–0,1 мм./зуб і глибина різання 0,1–0,5 мм [14].

Інструмент, оснащений киборитом, дозволяє проводити обробку з глибиною різання до 2,5 мм. За даними [13], при близьких значеннях твердості модуль пружності і коефіцієнт тріщиностійкості кибориту вище відповідно на 23 і 28 %, ніж у гексаніту.

Процес чистового торцевого фрезерування інструментом, оснащеним гексанітом і киборитом, характеризується наступними особливостями:

- 1) можливістю обробки різних матеріалів практично будь-якої твердості, включаючи інструментальні сталі (65...67 HRC), загартовані сталі, високоміцні чавуни. Це дозволяє здійснювати механічну обробку після термічної, що суттєво знижує вплив термічних деформацій, які важко усунути, на продуктивність і точність обробки;

- 2) високою різальною здатністю ПНТМ, що дозволяє працювати на граничних швидкостях різання (5000 м/хв. при обробці чавунів і 400–600 м/хв. при обробці загартованих конструкційних сталей). При високих швидкостях різання різко змінюються складові теплового

балансу, причому по-різному для різних ПНТМ. У всіх випадках кількість теплоти, що поступає в оброблювану деталь, значно скорочується, а температура обробленої поверхні змінюється несуттєво. Це сприяє зниженню теплових деформацій оброблюваної деталі і позитивно відображається на фізико-технологічних характеристиках. Тепловий потік, направлений на інструмент, для ряду ПНТМ, таких, як композит 10 (гексаніт-Р) і киборит, виявляється суттєво меншим, ніж для ПНТМ типу композита 05. Робота на високих швидкостях різання і помірних перерізах зрізу сприяє зниженню сил різання, діючих в технологічній системі, і, як наслідок, пропорційному скороченню деформацій цієї системи і суттєвому підвищенню точності обробки, а також зменшенню зносу багатьох вузлів верстатів та їх оснастки.

Таким чином, застосування ПНТМ при лезовій обробці дозволяє в 10–20 разів підвищити швидкість різання, що навіть при 2–4-кратному зменшенні перерізу зрізу забезпечує багаторазове підвищення продуктивності обробки по відношенню до продуктивності при застосуванні твердих сплавів;

3) можливістю фрезерування чавуну з подачею $S_z \leq 0,5$ мм/зуб та загартованої сталі з подачею $S_z \leq 0,2$ мм/зуб;

4) можливістю забезпечення високої точності обробки при тривалій безперервній роботі, що має найбільше значення для автоматизованих виробництв і, головним чином, для верстатів з ЧПУ (в т.ч. багатоцільових) та гнучких виробничих систем. Підвищення точності обробки досягається завдяки зменшенню деформацій в технологічній системі (внаслідок зниження сили та температури різання), а також завдяки високій розмірній стійкості інструмента з ПНТМ при суттєво малому зносі, що, в свою чергу, також сприяє стабілізації сили різання, а відповідно й точності;

5) можливістю забезпечення низької шорсткості оброблюваної поверхні, що дозволяє замінити шліфування лезовою обробкою (в даному випадку торцевим фрезеруванням), а також перебудовувати схему обробки, об'єднуючи чорнову, напівчистову і чистову обробки в одну операцію.

В теперішній час, у зв'язку з появою крупних різальних елементів з ПНТМ (діаметр описаного кола 5 мм та більше), а також з успішною розробкою різноманітних ступінчастих схем різання актуальним стає інший варіант використання цих інструментів – для повної обробки за одну операцію. В останньому випадку із заготовки (бажано термічно обробленої) весь припуск знімається відразу, і досягається потрібна геометрія та шорсткість обробленої поверхні.

Припуск 6–8 мм доцільно знімати ступінчастими інструментами з ПНТМ за один прохід, отримуючи при цьому високу продуктивність, низьку шорсткість і високу точність розмірів і форми оброблених поверхонь.

При використанні ПНТМ на діючому обладнанні можна забезпечити підвищення продуктивності обробки в 2–5 разів на ряді технологічних операцій, навіть при неповному використанні різальних властивостей ПНТМ (через відсутність відповідного швидкохідного обладнання і, як наслідок, роботи на неоптимальних для ПНТМ режимах).

IV. Шляхи удосконалення конструкцій торцевих фрез

Аналіз існуючих конструкцій торцевих фрез визначив основні вимоги, які необхідно враховувати при створенні оптимальної конструкції інструменту: для отримання високоякісних площин з високою продуктивністю обробки і якості обробки інструмент повинен мати радіусну калібровану кромку; механізм закріплення різальних елементів повинен забезпечувати прецизійну та стабільну орієнтацію каліброваних кромок; у фрезах повинна бути забезпечена можливість регулювання торцевого биття каліброваних кромок. Також існує ряд додаткових вимог, щодо розширення функціональних можливостей інструменту:

- ступінчасте розташування різальних ножів підвищує максимальну глибину різання і поєднує чорпові і чистові операції за один прохід;
- радіальне розташування механізму закріплення збільшує можливе число різальних ножів у фрезі;
- використання напаяних різальних ножів та їх кутове розміщення дозволяє вести обробку закритих площин;
- застосування ножів із ПНТМ для забезпечення необхідної продуктивності і якості обробки;

- вирішення проблеми високопродуктивного перезагострення різальних ножів розширює область використання напаяного інструменту;
- різальний інструмент повинен бути уніфікованим;
- виконання торця корпусу фрези максимально можливого діаметра забезпечує високопродуктивну та точну установку напаяних різальних ножів.

Аналіз літературних джерел та виконані власні дослідження дозволили розробити напрямки подальшого удосконалення чистових торцевих фрез, оснащених ПНТМ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Родін П.Р. Металлорежущие инструменты. – Киев: Вища школа, 1986. – 455 с.
2. Фреза торцовая регулируемая: А.с. 1289620 СССР, МКІ В 23 С 5/06. / А.Ф. Самардак, В.В. Доценко (СССР). – № 3901212/31-08; Заявлено 25.05.85; Опубл. 15.02.87, Бюл. № 6. – 2 с.
3. Торцовая фреза: А.с. 1278119 СССР, МКІ В 23 С 5/06. / В.Я. Шевченко (СССР). – № 3883786/30-08; Заявлено 15.04.85; Опубл. 23.12.86, Бюл. № 47. – 2 с.
4. Торцовая фреза: А.с. 814597 СССР, МКІ³ В 23 С 5/06. / Г.А. Прошин, Ю.П. Симоненко (СССР). – № 2675371/25-08; Заявлено 20.10.78; Опубл. 25.03.81, Бюл. № 11. – 3 с.
5. Торцовая фреза: А.с. 1296318 СССР, МКІ В 23 С 5/06. / В.Н. Скворцов (СССР). – № 3698609/25-08; Заявлено 08.02.84; Опубл. 15.03.87, Бюл. № 10. – 2 с.
6. Торцовая фреза: А.с. 971591 СССР, МКІ³ В 23 С 5/06. / Г.Н. Выговский, Е.В. Скочко (СССР). – № 3280820/25-08; Заявлено 27.04.81; Опубл. 07.11.82, Бюл. № 41. – 2 с.
7. Торцовая фреза: А.с.1641523 СССР, МКІ В 23 С 5/06. / П.В. Кушников, В.Н. Червяков (СССР). – № 4680865/08; Заявлено 18.04.89; Опубл. 15.04.91, Бюл. № 14. – 2 с.
8. Торцовая регулируемая фреза: А.с. 1576252 СССР, МКІ В 23 С 5/06. / Л.Л. Борисова, А.Б. Руденко (СССР). – № 4495330/31-08; Заявлено 17.10.88; Опубл. 07.07.90, Бюл. № 25. – 2 с.
9. Фреза: А.с. 1155375 СССР, МКІ В 23 С 5/06. / Н.Н. Коротун (СССР). – № 3684441/25-08; Заявлено 30.12.83; Опубл. 15.05.85, Бюл. № 18. – 2 с.
10. *Выговський Г.М., Мельничук П.П., Громовий О.А.* Використання кінематичних схем різання при чистовому торцевому фрезеруванні // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 13 / Технічні науки. – С. 18–24.
11. *Сенькин Е.Н., Филиппов Г.В., Колядин А.В.* Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами. – Л.: Машиностроение, 1988. – 63 с.
12. *Клименко С.А., Муковоз Ю.А., Полонский Л.Г., Мельничук П.П.* Точение износостойких защитных покрытий. – Київ: Техніка, 1997. – 146 с.
13. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении: Уч. пособие / Под редакцией А.И. Грабченко. – Харьков: ХДПУ, 1999. – 436 с.
14. Конструкции и эксплуатация торцевых фрез из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора. Методические рекомендации. – М.: НИИМаш, 1984. – 66 с.

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

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі обробки металів різанням;
- проектування ріжучого інструмента.

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – асистент кафедри "Технологія машинобудування і конструювання технічних систем" Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

СЄРОВ Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інженерної механіки Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- нормування точності деталей машин.