

МАШИНОЗНАВСТВО. ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.914

Л.Є. Глембоцька, аспір.
П.П. Мельничук, д.т.н., проф.

Житомирський державний технологічний університет

СХЕМИ РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розроблено прогресивні схеми різання торцевими фрезами для обробки плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Використання стандартних торцевих фрез (ТФ) при обробці плоских поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів (ВОМ) не дає змоги отримати високу точність обробки та якість поверхневого шару, особливо при виконанні фінішних операцій. Одним із шляхів удосконалення процесу торцевого фрезерування є застосування торцевого інструмента з надтвердими інструментальними матеріалами, які працюють за прогресивними схемами різання. Відомі вітчизняні та зарубіжні оригінальні розробки торцевих інструментів у більшості випадків, які зокрема використовували ступінчасті схеми різання, не знайшли широкого застосування на практиці. З огляду на вищесказане, автори в роботі пропонують власні розробки прогресивних схем різання при торцевому фрезеруванні плоских поверхонь деталей з ВОМ, які сформовані на принципах: рівномірне навантаження на ножі ТФ та їх рівномірне зношування, мінімізація вібрацій при різанні, зниження чутливості процесу різання до биття різальних кромки та ударів на вході/виході при контакті із заготовкою. Ефективність запропонованих схем різання підтверджена при моделюванні процесу обробки плоских поверхонь деталей ТФ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1–4] вказані недоліки відомих стандартних ТФ: биття різальних кромки ножів, нерівномірне навантаження на різальні кромки, інтенсивне зношування ножів фрези, удари при різанні тощо. Відомо [5], що для досягнення ефективною роботи ТФ навантаження на різальні кромки повинно бути рівномірним. Але недоліки при конструюванні, виготовленні та експлуатації ТФ роблять це майже неможливим через похибки їх базування і закріплення на верстатах та вершинні форми різальних частин ножів ТФ. Відомо [6], що допуски на радіальне биття двох суміжних і протилежних ножів складають величини 0,02...0,15 мм, а на торцеве биття – 0,02...0,1 мм. З одного боку, ці величини через співставність з товщиною зрізу є великими для досягнення рівномірного різання, а з іншого – таке биття різальних кромки при експлуатації ТФ є майже недосяжним. Подолання вказаних недоліків полягає в зменшенні навантаження на кожен ніж і у підвищенні участі роботи ножів за рахунок використання східчастих схем різання, які характеризуються переважно поділом ширини (в напрямку глибини різання) зрізу, тоді як схеми різання стандартних ТФ – поділом товщини (в напрямку подачі) зрізу.

Відомі схеми різання ТФ з розташуванням ножів на концентричних сходах [6], коли сходами ділиться глибина різання, а окремими ножами – товщина зрізу. Перевагою таких схем є досягнення великих глибин різання при використанні великої кількості ножів, але водночас фрези з такими схемами різання мають недоліки стандартних ТФ, чутливих до биття різальних кромки ножів.

Найбільш розповсюдженим розташуванням ножів ТФ по спіралях. У роботі [7] пропонується розташування по спіралі Архімеда, в [8–10] – по логарифмічній, в [11] – по спіралі Ферма, що призводить до рівномірного навантаження на ножі ТФ, збільшення кількості ножів, що беруть участь в різанні, до знімання великих глибин різання. Загальною рисою робіт [8–10] є використання різальних ножів з плоскою передньою та циліндричною задньою поверхнями та встановлення різного вильоту ножів відносно поверхні корпусу ТФ та отримання конічної форми загальної поверхні різання. Аналіз схем різання [7–10] показує, що через велику різницю в швидкостях різання окремими ножами (особливо ножами на меншому та більшому діаметрах) має місце суттєва різниця в їх зношуванні. Через малі значення кутів у плані для чорнових ножів спостерігається зростання явища копіювання. Крім того, через велику різницю в діаметрах, на яких розташовані перший та останній ножі, обмежується ширина оброблюваної деталі та/або збільшення габаритів фрези. Тому для подолання всіх вказаних недоліків доцільно загальну поверхню різання виконати торової форми за рахунок використання тороїдального корпусу ТФ [11], що зробить можливим виконати установку ножів з однаковим вильотом.

За відомими східчастими «човниковими» схемами різання ТФ [12, 13] припуск ділиться за шириною зрізу, завдяки чому навіть при невеликій глибині різання кожним ножем, загальна глибина різання може бути значною. Але більш важливою перевагою цих ТФ є мала чутливість до биття різальних кромки

ножів, що має місце як внаслідок більших відносно стандартних товщин зрізу, так і переважного різання кожним ножом по власному сліду. При реалізації на ТФ «човникових» східчастих схем різання ножі розташовуються на спіралях різного напрямку або на двох півколах (коло зі зміщеним відносно осі обертання центром). Таке різне розташування ножів може розглядатись як конструктивна подача [5, 14, 15] з різним знаком. Взаємодія конструктивної з робочою кінематичною подачею створює в одних випадках великі товщини зрізу, а в інших – малі, що в останньому випадку характеризує низьку ефективність обробки та велику чутливість до биття різальних кромки ножів ТФ.

Відомо [16, 17, 18], що зі збільшенням товщини зрізу, наприклад в 1000 разів (від 0,001 до 1 мм), питома сила різання зменшується (відповідно з 2,15 до 0,02 ГПа) майже у 100 разів, замість того, щоб залишатись постійною. Це пояснюється тим, що при малій товщині зрізу перетворення окремого шару припуску в стружку проходить не по передній поверхні, а по перехідній (по дузі радіуса заокруглення), через що передній кут суттєво зменшується, а тому збільшуються питомі сили різання. Тобто, для найбільш ефективного руйнування припуску необхідно зрізати зменшені за шириною і збільшені за товщиною шари припуску. Необхідно, щоб товщина зрізу була 0,05–1 мм, а найбільша ширина зрізу 1–10 мм, що можна реалізувати за рахунок східчастих схем різання.

Для подолання вищенаведених недоліків стандартних ТФ необхідним є використання безвершинних ножів косокутного різання з опуклою передньою (циліндричною або конічною) та задньою (плоскою або конічною) поверхнями зі східчастим розташуванням на корпусі ТФ [19]. Враховуючи аналіз переваг та недоліків вказаних відомих схем різання при розробці та впровадженні в конструкції ТФ нових прогресивних східчастих схем дасть можливість підвищити ефективність обробки торцевим фрезеруванням плоских поверхонь деталей з ВОР.

Метою статті є розробка прогресивних східчастих схем різання ТФ для обробки плоских поверхонь деталей з ВОР.

Викладення основного матеріалу дослідження. Серед можливих форм корпусів ТФ у вигляді тіл обертання найкращою буде тороїдальна, тому що робота ножа, який обробляє зовнішню поверхню заготовки, характеризується кутом в плані близько прямого, що визначає мінімальне копіювання поверхні заготовки на поверхні деталі. Ніж, який обробляє поверхню деталі, має нульовий кут в плані, а напівчистовий ніж – малий кут в плані. Завдяки розташуванню цих ножів на колі тора чистовим ножом зрізується мала товщина зрізу, що визначає гарну якість поверхневого шару. Конструктивною перевагою тороїдального корпусу є також можливість легкого встановлення ножів з однаковим вильотом відносно корпусу, чим забезпечується однакове навантаження кожного з ножів.

Розглянемо два можливих варіанти загальних форм поверхонь різання для ТФ з тороїдальним корпусом: коли траєкторія результуючого руху при різанні співпадає з напрямком проекції спіралі (рис. 1, а) та коли траєкторія результуючого руху протилежна напрямку спіралі (рис. 1, б).

При обробці деталей ТФ з тороїдальним корпусом у випадку, коли глибина різання порівняна з величиною радіуса тора, поверхня різання стає «закритою» (рис. 1, а) (кут в плані $\varphi_{кин.сн.}$ збільшується) зрізання окремих шарів і видалення стружки досить ускладнені. Використання такої форми загальної поверхні різання можливо для чистової обробки при малих подачах та глибині різання, меншій величині радіуса тора.

Інша форма загальної поверхні різання (рис. 1, б) може мати більш широке використання завдяки «відкритій» (кут в плані $\varphi_{кин.пром.}$ зменшується) поверхні різання, що дозволяє їх застосовувати на всіх видах ТФ. При такій формі загальної поверхні різання допускається, щоб глибина різання навіть перевищувала величину радіуса тора. Характерною ознакою такої форми загальної поверхні різання є послідовність зрізання шарів припуску від уявної обробленої поверхні до поверхні заготовки.

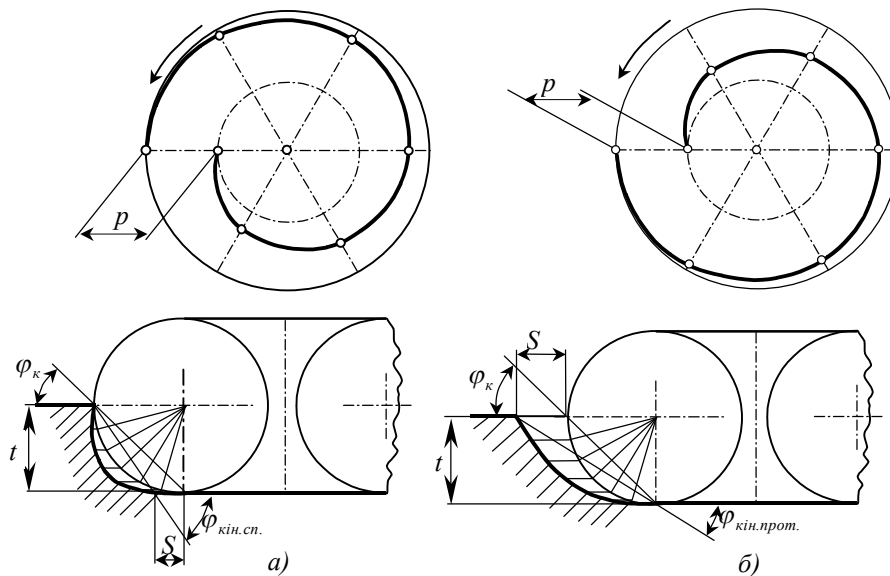


Рис. 1. Вплив співпадання (а) чи протилежності(б) напрямків проекції спіралі з ножами та траєкторії результуючого руху на форму загальної поверхні різання

Для визначення розмірів загальних поверхонь різання проведемо розрахунки координат центра та радіуса апроксимуючого кола перерізу поверхні різання для випадків протилежних та співпадаючих напрямків траєкторії результуючого руху точок фрези і спіралі на ній. На основі загальних поверхонь різання в подальшому будуть розроблятися реальні схеми різання ТФ.

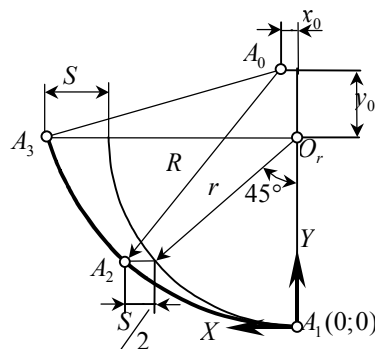


Рис. 2. Форма загальної поверхні різання з протилежними напрямками проекції спіралі ТФ та траєкторії результуючого руху

Координати центра кола і його радіус (рис. 2) визначаються за формулами (1) та (2):

$$x_0 = \frac{y_3(x_2^2 + y_2^2) - y_2(x_3^2 + y_3^2)}{2(x_2y_3 - x_3y_2)}, \tag{1}$$

$$y_0 = \frac{x_3(x_2^2 + y_2^2) - x_2(x_3^2 + y_3^2)}{2(x_3y_2 - x_2y_3)},$$

$$R_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \tag{2}$$

де $x_1 = 0$; $y_1 = 0$ – координати точки A_1 ;

$$x_2 = r \cdot \sin 45^\circ + \frac{S}{2}; y_2 = r \cdot (1 - \cos 45^\circ) - \text{координати точки } A_2;$$

$$x_3 = r + S; y_3 = r - \text{координати точки } A_3.$$

Підстановка значень координат трьох точок дозволяє знайти радіус R апроксимуючого кола перерізу поверхні різання для випадку протилежних напрямків траєкторії результуючого руху точок фрези і спіралі на ній:

$$x_0 = \frac{0,0607rS - 0,0215S^2}{0,4142r + 0,2071S}, \quad y_0 = \frac{0,4142r^2 + 0,5607rs + 0,375S^2 + 0,125S^3/r}{0,4142r + 0,2071S},$$

$$R_0 = \frac{\sqrt{(0,0607rS - 0,0215S^2)^2 + (0,4142r^2 + 0,5607rS + 0,375S^2 + 0,125S^3/r)^2}}{0,4142r + 0,2071S}$$

При «відкритій» схемі різання для чорнової ТФ ($r = 25$ мм; $S = 1...2$ мм) отримаємо центр апроксимуючого кола перерізу поверхні різання з координатами: $x_0 = 0,21$ мм; $y_0 = 26,31$ мм, а $R_0 = 26,31$ мм. Відповідно для чистової ТФ ($r = 15$ мм; $S = 0,5...1$ мм): $x_0 = 0,11$ мм; $y_0 = 16$ мм; $R_0 = 16$ мм. У зв'язку з тим, що значення x_0 відносно малі, тому з метою спрощення для подальшого аналізу схем різання приймемо $x_0 = 0$.

Аналогічно визначимо радіус поверхні різання для випадку ТФ з тороїдальною формою корпусу, коли напрямок спіралі співпадає з напрямком траєкторії результуючого руху точок різальних кромek ТФ (рис. 3).

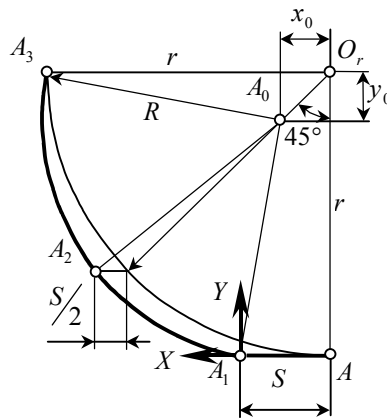


Рис. 3. Форма загальної поверхні різання зі співпадаючими напрямками проекції спіралі ТФ та траєкторії результуючого руху

У формули (1) та (2) підставляємо відповідні значення координат трьох точок: де $x_1 = 0$; $y_1 = 0$;

$$x_2 = r \sin 45^\circ - 0,5S; \quad y_2 = r \cdot (1 - \cos 45^\circ)$$

$$x_3 = r; \quad y_3 = r$$

Знаходимо радіус і координати центра апроксимуючого кола перерізу поверхні різання:

$$x_0 = \frac{0,125S^2 - 0,3536rS}{0,4142r - 0,5S},$$

$$y_0 = \frac{0,125S^2 + 0,4142r^2 + 0,1465rS}{0,5S - 0,4142r}.$$

$$R_0 = \sqrt{\left(\frac{0,125S^2 - 0,3536rS}{0,4142r - 0,5S}\right)^2 + \left(\frac{0,125S^2 + 0,4142r^2 + 0,1465rS}{0,5S - 0,4142r}\right)^2}$$

При «закритій» схемі різання для чорнової ТФ ($r = 25$ мм; $S = 1...2$ мм) отримаємо центр апроксимуючого кола перерізу поверхні різання з координатами: $x_0 = -1,35$ мм; $y_0 = 27,55$ мм, а $R_0 = 27,58$ мм. Відповідно для чистової ТФ ($r = 15$ мм; $S = 0,5...1$ мм): $x_0 = -0,67$ мм; $y_0 = 16,26$ мм; $R_0 = 16,27$ мм. На основі загальної поверхні різання (рис. 1, б) за допомогою розрахунків побудовані східчасті схеми різання.

Загальна поверхня різання, що характеризується повною глибиною різання, формується декількома ножами з обмеженими розмірами різальної частини ножа ТФ. Зрізання шарів припуску трапецеїдальної або трикутної форми призводить до зниження сил різання, підвищує стійкість ТФ та відповідно продуктивність обробки [5]. При використанні східчастих схем різання ТФ з тороїдальним корпусом, на якому розташовані безвершинні різальні ножі косокутного різання з опуклою передньою (циліндричною або конічною) та задньою (плоскою або конічною) поверхнями зрізуються шари припуску трапецеїдальної (рис. 4, 5) або трикутної форми (рис. 6, 7, 8) з дуговими гранями. У зв'язку з нахилом на кут α кожної колової різальної кромки до загальної поверхні різання висота еліптичної ділянки елементарного зрізу одним ножом визначиться за формулою (3):

$$h = 2\rho \cdot \sin(\alpha + \theta), \quad (3)$$

де ρ – радіус різальної кромки ножа;

α – задній кут;

θ – кут конусної задньої поверхні (при плоскій задній поверхні $\theta = 0$).

Трапецеїдальною формою зрізу (рис. 4, 5) характеризується робота ТФ зі східчастим розташуванням ножів на двох чи більшій кількості спіралей. Найбільша товщина зрізу виконується середньою частиною активної довжини різальної кромки. Така ТФ малочутлива до биття лез та при максимальній глибині різання забезпечує майже стовідсоткову участь всіх ножів в роботі, внаслідок чого стабілізується швидкість обертання, тобто рівномірність роботи ТФ, і як результат досягається зниження інтенсивності зношування.

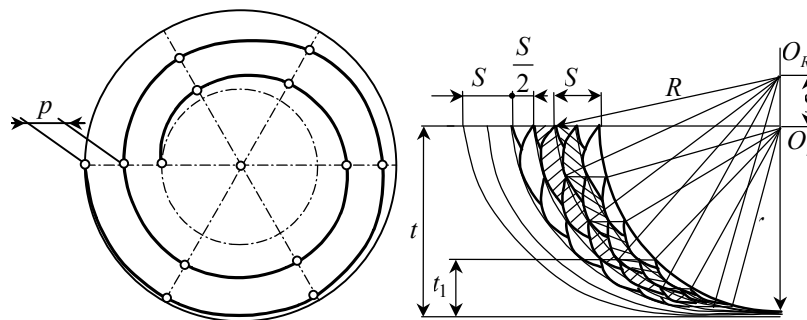


Рис. 4. Схема різання ТФ з протилежними напрямками проекції двовиткової спіралі з ножами та траєкторії результуючого руху

Для подолання негативного впливу нестабільностей кінематичних рухів верстата, змінної жорсткості заготовки та ударів при вході-виході з зони різання кожного наступного ножа ТФ доцільно кількість ножів, що одночасно ріжуть в зоні різання, збільшити від двох [15] до трьох–п'яти і більше. Завдяки великій кількості одночасно ріжучих ножів схемою різання ТФ (рис. 4) досягається висока рівномірність процесу фрезерування, що може бути використаним у маложорсткій технологічній системі.

Схема різання (рис. 5) з розташуванням ножів чорнкової ТФ на двох напіввиткових симетричних спіралях може використовуватись на чорнових ТФ.

Схема різання (рис. 6) типу «риб'яча луска» з розташуванням ножів на двох напіввиткових взаємозміщених на величину зміщення t спіралях характеризується трикутною формою зрізу та забезпечує високу продуктивність обробки на чорнових ТФ.

Схема різання (рис. 7) з вирівняними величинами площ зрізу з розташуванням ножів на трьох третиновиткових спіралях забезпечують високу продуктивність зняття припуску при напівчистовому фрезеруванні.

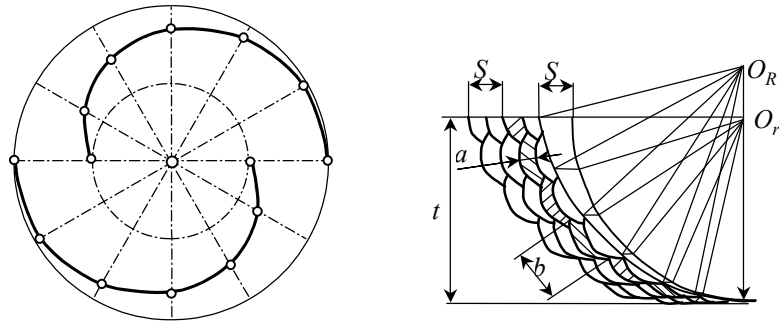


Рис. 5. Розташування ножів чорнової ТФ на двох напіввиткових симетричних спіралях та схема різання нею

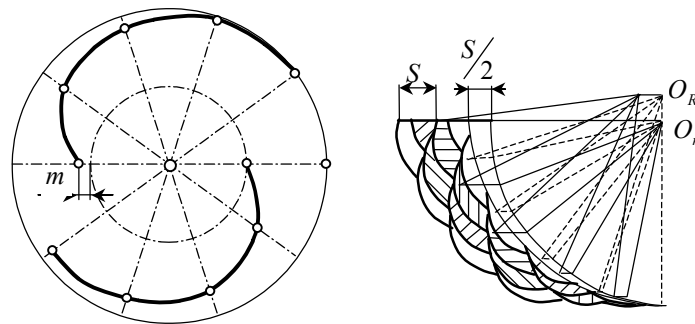


Рис. 6. Розташування ножів чорнової ТФ на двох напіввиткових взаємозміщених спіралях та схема різання нею

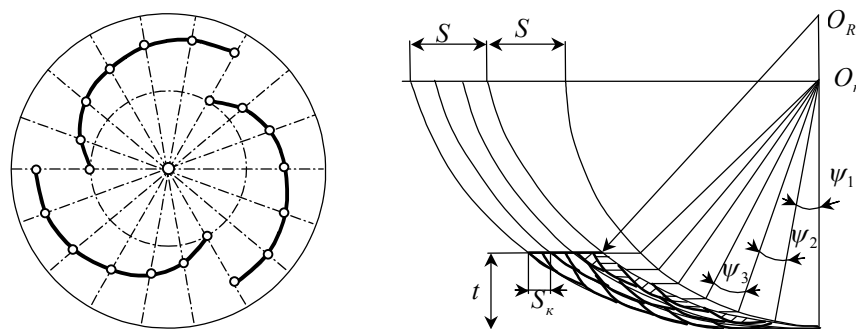


Рис. 7. Розташування ножів чистової ТФ на трьох третиновиткових спіралях та схема різання з вирівняними величинами площ зрізу

Розташування ножів навколо осі тора може бути лінійним або нелінійним, наприклад за законом арифметичної прогресії:

$$\psi_i = \psi_1 \pm \psi_{1+i},$$

де знак « \rightarrow » використовується у випадках чистових фрез зі спадним кутовим кроком (рис. 7); знак « $+$ » – зі зростаючим кутовим кроком (рис. 8).

Подача визначиться для лінійних спіралей (Архімеда) за формулою:

$$S = S_{кин} \pm S_{конс} = S_{об} \cdot n \pm K \cdot p,$$

де $S_{кин}$ – кінематична подача;

$S_{конс}$ – конструктивна подача;

$S_{об}$ – подача на один оберт фрези;

n – частота обертання фрези;

K – кількість коротких спіралей, котрі вкладаються на повному колі;

p – крок спіралі.

Підвищені вимоги щодо точності виготовлення висуваються до ТФ для чистової обробки, особливо оснащених надтвердими матеріалами. Ці фрези, що забезпечують знімання до 0,4–0,5 мм на один східець дозволяють отримувати поверхню з параметром шорсткості $R_a = 0,63$ мкм і відхиленням від допустимої площинності не більше 0,01 мм на 1 м довжини, стійкість фрези при цьому досягає 200–300 хв. [6]. Схема різання (рис. 8) зі згущеним розташуванням чистових ножів на одновитковій спіралі дозволяє отримати ще більш низьку шорсткість та невисоку хвилястість.

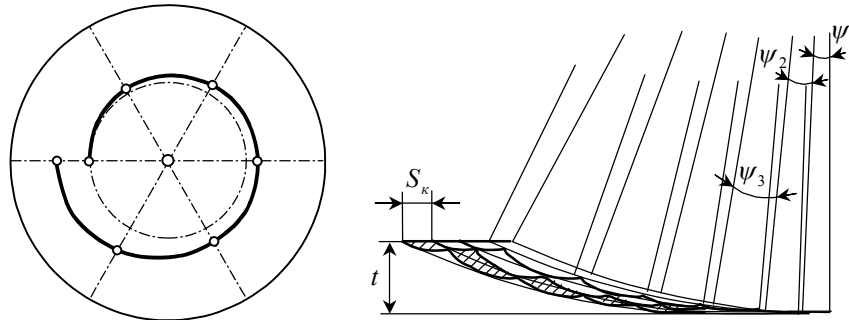


Рис. 8. Розташування ножів чистової ТФ на одновитковій спіралі та схема різання зі згущеним розташуванням чистових ножів

Всі розглянуті схеми різання дозволяють отримати майже стовідсоткову участь в роботі ножів ТФ (при максимальній глибині різання), рівномірність рухів при фрезеруванні, і як результат – підвищені стійкість і продуктивність обробки, високу якість поверхневого шару (особливо низьку хвилястість) та загальне підвищення ефективності обробки.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. В даній статті розроблено прогресивні східчасті схеми різання ТФ з ножами з опуклою передньою (циліндричною або конічною) поверхнею, розташованих на тороїдальному корпусі для обробки плоских поверхонь деталей з ВОР для реалізації в конструкції ТФ. В подальшому буде продовжено математичне і фізичне моделювання, та експериментальні дослідження на верстаті. Прогнозується, що використанням даних східчастих схем різання в конструкціях ТФ буде досягнуто підвищення ефективності обробки торцевим фрезеруванням.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шохов И.С. Влияние биения зубьев фрез на процесс фрезерования жаропрочных сталей и сплавов. – М.: ГИОП, 1955. – 59 с.
2. Крепак А.С. Влияние биения и колебаний фрез на их стойкость. – Харьков: Республ. междуведом. научно-тех. сб. “Резание и инструмент”. – 1980. – № 24. – С. 124–127.
3. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – С. 188.
4. Андреев Г.С. Удар при прерывистом резании металлов // Вестник машиностроения. – 1971. – № 3. – С. 65–68.
5. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов: Учебник. – К.: Выща шк., 1990. – С. 218–222.
6. Справочник инструментальщика / Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – С. 342–346, 349.
7. Сенькин Е.Н. и др. Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами / Е.Н. Сенькин, Г.В. Филиппов, А.В. Колядин. – Л.: Машиностроение, 1988. – С. 34–37.
8. Виговський Г.М., Мельничук М.М. Процес різання торцевими ступінчастими фрезами з косокутною геометрією різальних частин, що оснащені надтвердими матеріалами (НТМ) // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 7 / Технічні науки. – С. 73–81.
9. Виговський Г.М., Громовий О.А., Мельничук П.П. Використання кінематичних схем різання при чистовому торцевому фрезеруванні // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 13 / Технічні науки. – С. 18–25.
10. Виговський Г.М., Громовий О.А., Мельничук П.П. Розрахунок сил різання при обробці деталей ступінчастими торцевими фрезами // Вісник ЖІТІ. – 1999. – № 11 / Технічні науки. – С. 58–66.
11. Торцева ступінчаста фреза: А. с. 20040705233, МПК В 23 С5/06 // Л.Є. Глембоцька. – №17274/1; Заявлено 01.07.2004; Опубл. 19.06.06.
12. Лищинский Н.Я. Новые конструкции торцевых ступенчатых фрез с резаками из сверхтвердых материалов // Сверхтвердые материалы. – 1980. – № 3. – С. 28–30.

13. Андреев В.Н., Тамбовцев С.С. Конструкция и эксплуатация ступенчатых фрез с механическим креплением многогранных твердосплавных пластинок // Фрезы: Сборник докладов всесоюзного совещания по фрезам. – М.: ВНИИ, 1968. – С.69–74.
14. Лаинев С.И., Юликов М.И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ – М.: Машиностроение, 1980. – С. 19–24.
15. Лаинев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография. – Курск, 1997. – С. 37–38.
16. Семенченко И.И. и др. Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – С. 222–224.
17. Blanck D. Spanformfaktor für kleine Spannungsdicken // Werkstattstechnik. – 1979, 69. – № 7. – P. 393–394. (Удельная сила резания при малых толщинах среза. ЭИ РИ № 47, 1979. – С. 23–25.)
18. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием: физические основы: Учеб. пособие. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 1995. – 51 с.
19. Глембоцька Л.Є. Проектування різальної частини ножа торцевої фрези // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Збірник наукових праць. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – Вип. 2. – С. 184–196.

ГЛЕМБОЦЬКА Лариса Євгеніївна – аспірант кафедри ТМ і КТС Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– технологія машинобудування та проектування різальних інструментів.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – доктор технічних наук, професор, ректор Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– інженерія поверхонь;

– розробка прогресивних конструкцій інструменту і оброблюючих систем.

Подано 14.06.2006