

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.
О.А. Громовий, к.т.н., доц.
О.В. Мельник, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ ТИПУ “САЛАЗОК” ДВОСТУПІНЧАСТОЮ КОМБІНОВАНОЮ ТОРЦЕВОЮ ФРЕЗОЮ

В роботі виконано моделювання обробки деталі типу “салазок” двоступінчастою комбінованою торцевою фрезою. А також визначено найбільш раціональне розташування різальних ножів на кожній сходинці фрези.

Постановка проблеми. Для обробки плоских поверхонь широко використовують торцеві фрези, оснащені надтвердими матеріалами (НТМ). Практика довела ефективність їхнього використання. Разом з тим існує велика кількість деталей (“салазки”, направляючі тощо), які мають декілька розташованих паралельно поверхонь, обробка яких виконується послідовно, при цьому виникають великі проблеми з технологічного забезпечення їх точного взаємного розташування. Перспективним напрямком є використання комбінованої одночасної обробки ряду поверхонь деталей.

Комбінована обробка дозволяє:

- об'єднати в одній операції напівчистові та фінішні переходи;
- здійснити одночасну обробку декількох поверхонь деталей з однієї установки для підвищення точності їх взаємного розташування;
- скоротити машинний та допоміжний час обробки деталей [1], [2].

При цьому актуальним є необхідність математичного моделювання процесу обробки комбінованими торцевими фрезами з різними варіантами розташування різальних ножів, що дозволить використати результати моделювання для конструювання комбінованих фрез.

Ціль дослідження. Метою дослідження є математичне моделювання процесу обробки деталі „салазка” ступінчастими комбінованими торцевими фрезами, та, на основі результатів моделювання, визначення найбільш раціонального розташування різальних ножів на кожній сходинці фрези, а також варіантів поєднання сходинок. Для цього була створена математична модель в програмі MatLAB 6.5, а саме в середовищі Simulink [3].

Виклад основної частини. Характерною особливістю торцевого фрезерування є змінність товщини зрізу по дузі контакту різального ножа фрези з заготовкою. При цьому виникають складові сили різання, які змінюють свою величину, напрям дії та призводять до похибок обробки деталей у поперечному напрямку внаслідок динамічних деформацій [4].

Динаміка торцевого фрезерування характеризується також процесами врізання та виходу кожного різального ножа із зони різання, що, в свою чергу, впливає на динамічні деформації [5].

Було проведено моделювання одночасної обробки двох паралельних поверхонь деталі „салазка” (рис. 1) торцевим фрезерування при використанні комбінованої ступінчастої фрези.

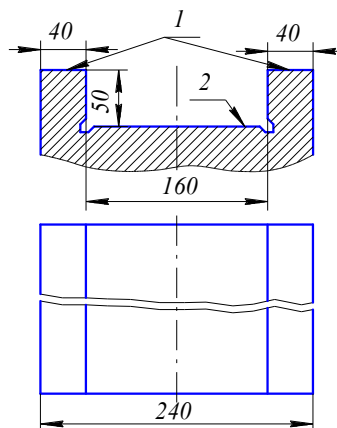


Рис. 1. Параметри оброблюваної деталі

Фреза складалася з двох сходинок. Розглядалося три варіанти розташування ножів на кожній сходинці: стандартне розташування, розташування за спіраллю Архімеда та за логарифмічною спіраллю.

В результаті отримано дев'ять варіантів торцевих фрез в наступній комбінації (рис. 2).

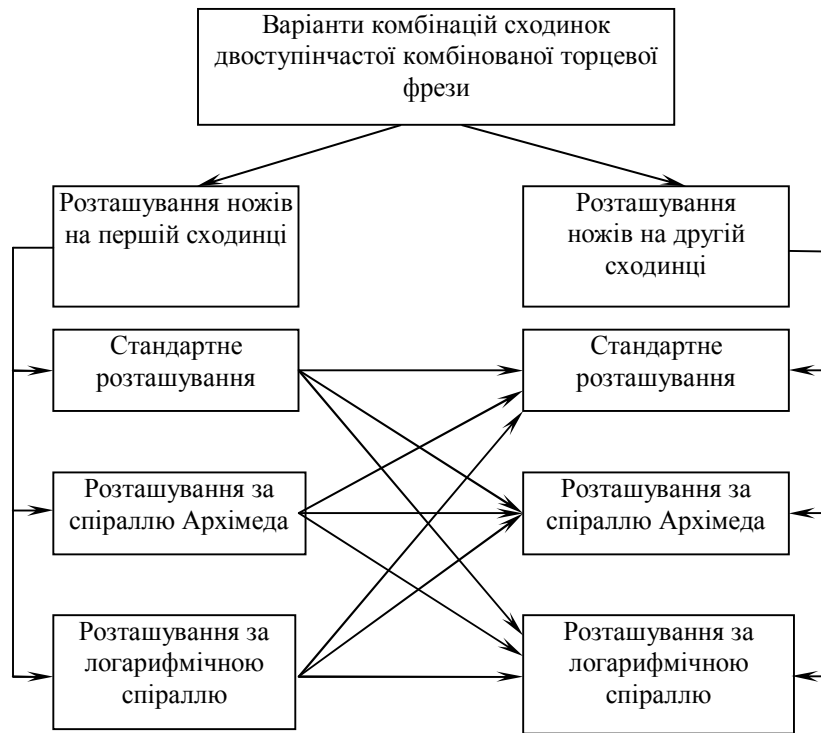


Рис. 2. Варіанти комбінацій сходинок двоступінчастої комбінованої торцевої фрези

Вихідні параметри сходинок фрези, що використовуються в моделюванні:

1. Перша сходинок діаметром $D_{1CT} = 250$ мм з кількістю ножів $Z = 24$ та сумарною глибиною різання $t_{1\Sigma} = 0,5$ мм обробляє поверхню 1 (рис. 1) шириною $B = 240$ мм.

2. Друга сходинок діаметром $D_{2CT} = 160$ мм з кількістю ножів $Z = 12$ та сумарною глибиною різання $t_{2\Sigma} = 0,5$ мм обробляє поверхню 2 (рис. 1) шириною $b = 160$ мм.

Для моделювання роботи фрези складаємо підсистему для визначення сили різання на одному ножі. Для цього моделюємо імпульсний скачок сили різання на одиницю, додаємо коливання, які виникають в результаті ударних навантажень, і шуми. Через період, що відповідає часу повного врізання, накладаємо аналогічний імпульсний скачок сили, але з протилежним знаком з врахуванням динаміки розвантаження.

За даними роботи [6] диференціальне рівняння руху фрези для моменту врізання інструмента буде мати вигляд:

$$m_i \frac{d^2 i}{dt^2} + b_i \cdot \frac{di}{dt} + C \cdot i = P_{i0} \cdot (1 - e^{-n_1 \cdot t}) \quad (1)$$

i для моменту виходу інструмента з різання, коли значення P_{i0} – значення сили при сталому різанні падає до нуля:

$$m_i \frac{d^2 i}{dt^2} + b_i \cdot \frac{di}{dt} + C \cdot i = P_{i0} \cdot e^{-n_2 \cdot t}, \quad (2)$$

де m_i – приведена маса технологічної системи (ТС); b_i – приведений коефіцієнт дисипативних сил; C – приведена жорсткість ТС; i – координата трієдра, за якою складається диференціальне рівняння; n_1 і n_2 – показники степеня, що характеризують форму експоненціального закону.

Програма MatLAB 6.5 розв'язує диференціальні рівняння за допомогою перетворень Лапласа. Провівши такі перетворення з диференціальними рівняннями (1) і (2), отримали:

$$i = \frac{P_{i0} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \eta_{i1}} \right)}{m_i s^2 + b_i s + C_i} \text{ та } i = \frac{P}{m_i s^2 + b_i s + C_i} \quad (3)$$

Для створення моделі обробки поверхні 1 визначимо тривалість роботи різального ножа (рис. 3).

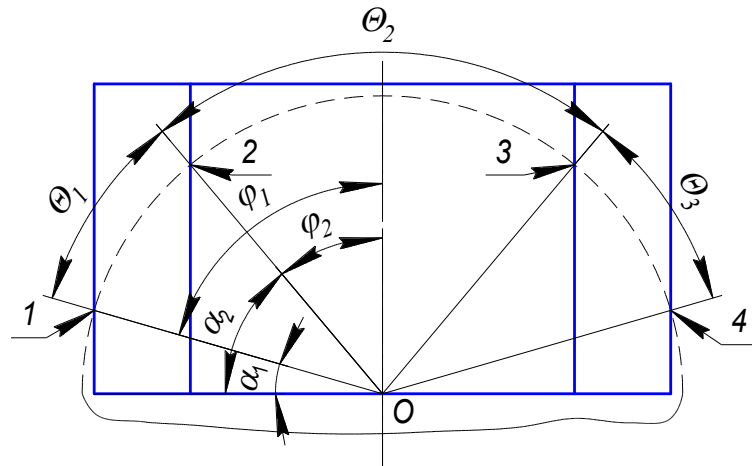


Рис. 3. Шлях різального ножа першої сходинки

Ніж фрези врізається в точці 1, проходить шлях Θ_1 і виходить в точці 2; аналогічно в точках 3 і 4.

$$\cos \alpha_1 = \frac{B/2}{R_{1фп}}; \quad \varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{B/2}{R_{1фп}}; \quad \cos \alpha_2 = \frac{b/2}{R_{1фп}}; \quad \varphi_2 = \frac{\pi}{2} - \arccos \frac{b/2}{R_{1фп}}; \quad (4)$$

$$\Theta_1 = \Theta_3 = \varphi_1 - \varphi_2; \quad \Theta_2 = (90^\circ - \varphi_2) \cdot 2,$$

де $B = 240$ мм – ширина деталі; $b = 160$ мм – ширина пазу; $R_{1фп} = 125$ мм – радіус фрези першої сходинки; α_1 – кут відносно центра фрези, під яким відбувається врізання ножа першої сходинки; α_2 – кут виходу ножа з зони різання; $\Theta_1 = \Theta_3$ – шлях ножа, на якому відбувається різання, при обробці першою сходинкою; Θ_2 – шлях вільного ходу ножа; φ_1 і φ_2 – допоміжні кути для визначення кутів Θ .

В середовищі MATLAB 6.5 блок для визначення одиничного імпульсу сили різання на одному ножі представлена на рис. 4.

Для визначення складових сил різання при торцевому фрезеруванні інструментом, оснащеним НТМ, використали залежність [7]:

$$P_{i0} = C_{iP} \cdot t^{\mu_i} \cdot S^{\mu_i} \cdot V^{\eta_i}, \quad (5)$$

де C_{iP} – коефіцієнт, що залежить від матеріалу різальних ножів; t – глибина фрезерування, мм; S – подача, мм/об; V – швидкість фрезерування, м/хв.; μ_i , μ_i , η_i – коефіцієнти, що визначаються за довідниками.

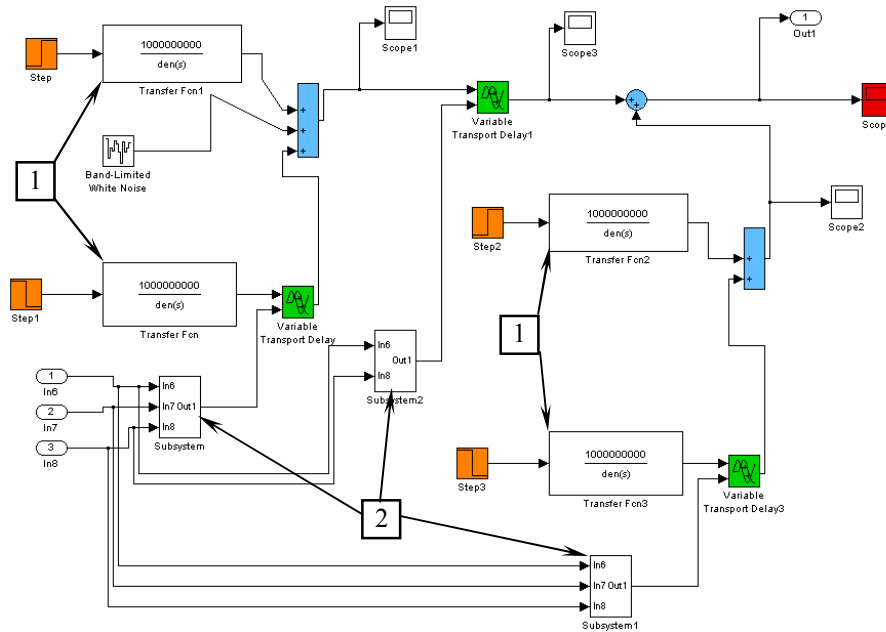


Рис. 4. Блок визначення одиничного імпульсу сили різання на одному ножі, де 1 – блоки визначення перехідного процесу при, відповідно, врізанні та виході ножа фрези, що задається у вигляді перетворення Лапласа; 2 – блоки для розрахунку часу різання

Блок для розрахунку складової сили різання представлений на рис. 5.

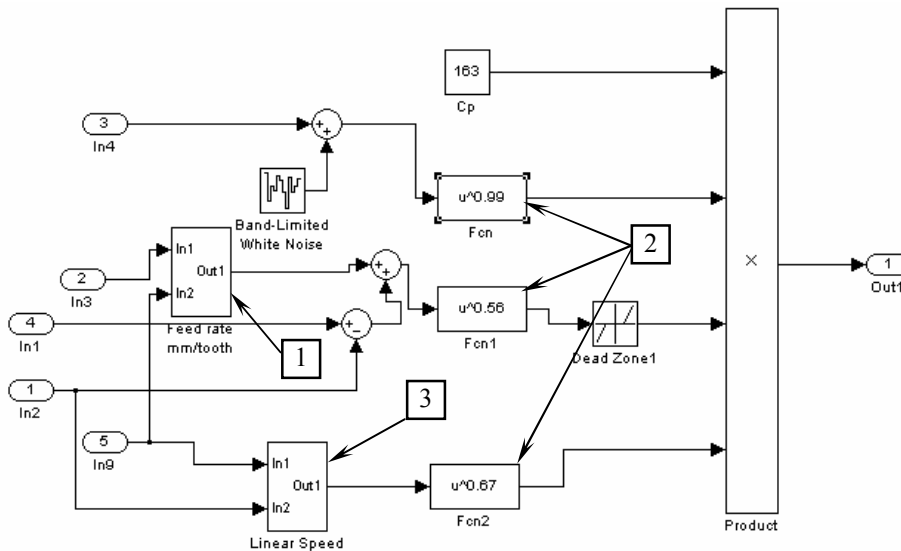


Рис. 5. Блок визначення складової сили різання, де 1 – блок визначення подачі; 2 – блоки значень коефіцієнтів, що входять до залежності (5); 3 – блок визначення швидкості фрезерування

Для визначення миттєвої сили різання на різальному ножі поєднуємо блоки рис. 4 і рис. 5. Для спрощення побудови моделі приймаємо, що кожен два протилежні ножі фрези утворювали пару, кожен ніж якої вступав у різання з затримкою на половину періоду. Блок для визначення миттєвої сили різання на протилежних ножах представлений на рис. 6.

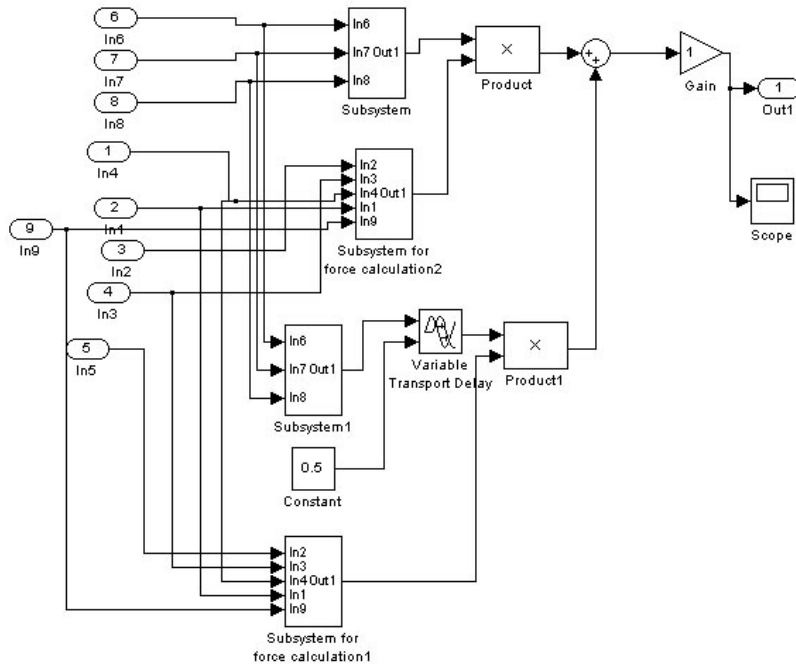


Рис. 6. Блок визначення миттєвої сили різання на протилежних ножах

Аналогічно складається модель для другої сходинки ($Z = 12$). Точки входу і виходу різального ножа другої сходинки при обробці другої поверхні показано на рис. 7. З рисунка видно, що шлях різання ножа для нижньої сходинки дорівнює 180° . Це значення кута входить до блока визначення одиничного імпульсу сили при моделюванні роботи другої сходинки.

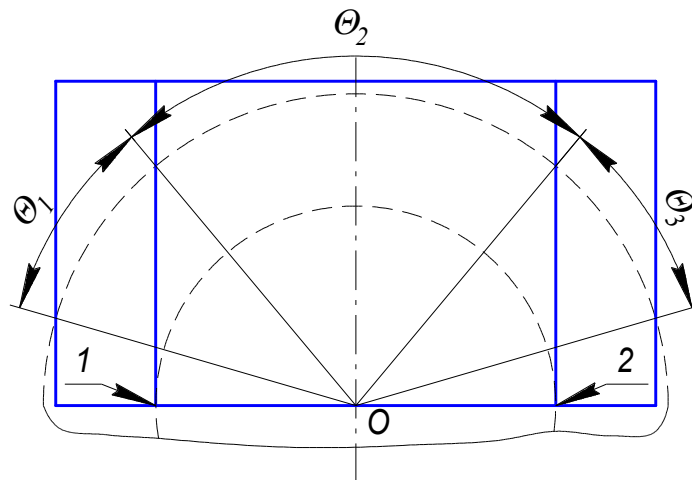


Рис. 7. Точки входу 1 та виходу 2 ножа другої сходинки комбінованої фрези

Модель роботи першої сходинки складається з 12 пар блоків рис. 6, а другої – з 6 таких пар. Схематичне зображення моделі двоступінчастої комбінованої торцевої фрези показано на рис. 8.

Для того, щоб задати момент врізання наступної пари ножів, був створений блок розрахунку кутових значень розташування ножів фрези. Розглядалися три варіанти розташування різальних ножів на сходинках фрези (стандартне розташування, розташування за спіраллю Архімеда та за логарифмічною спіраллю), відповідно було створено три таких блоки. Вони дають змогу розрахувати положення різальних ножів на радіусах, а також врахувати похибку установки ножів.

Оскільки кожна з досліджуваних фрез має різне розташування ножів на сходинках, то сили різання в кожному окремому випадку будуть відрізнятися. Для визначення раціональної конструкції при обробці подібних деталей потрібно розрахувати сили різання, які виникають на різальних ножах.

За критерій вимірювання обрано коефіцієнт нерівномірності μ , який визначається:

$$\mu = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\text{сеп}}}, \tag{6}$$

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

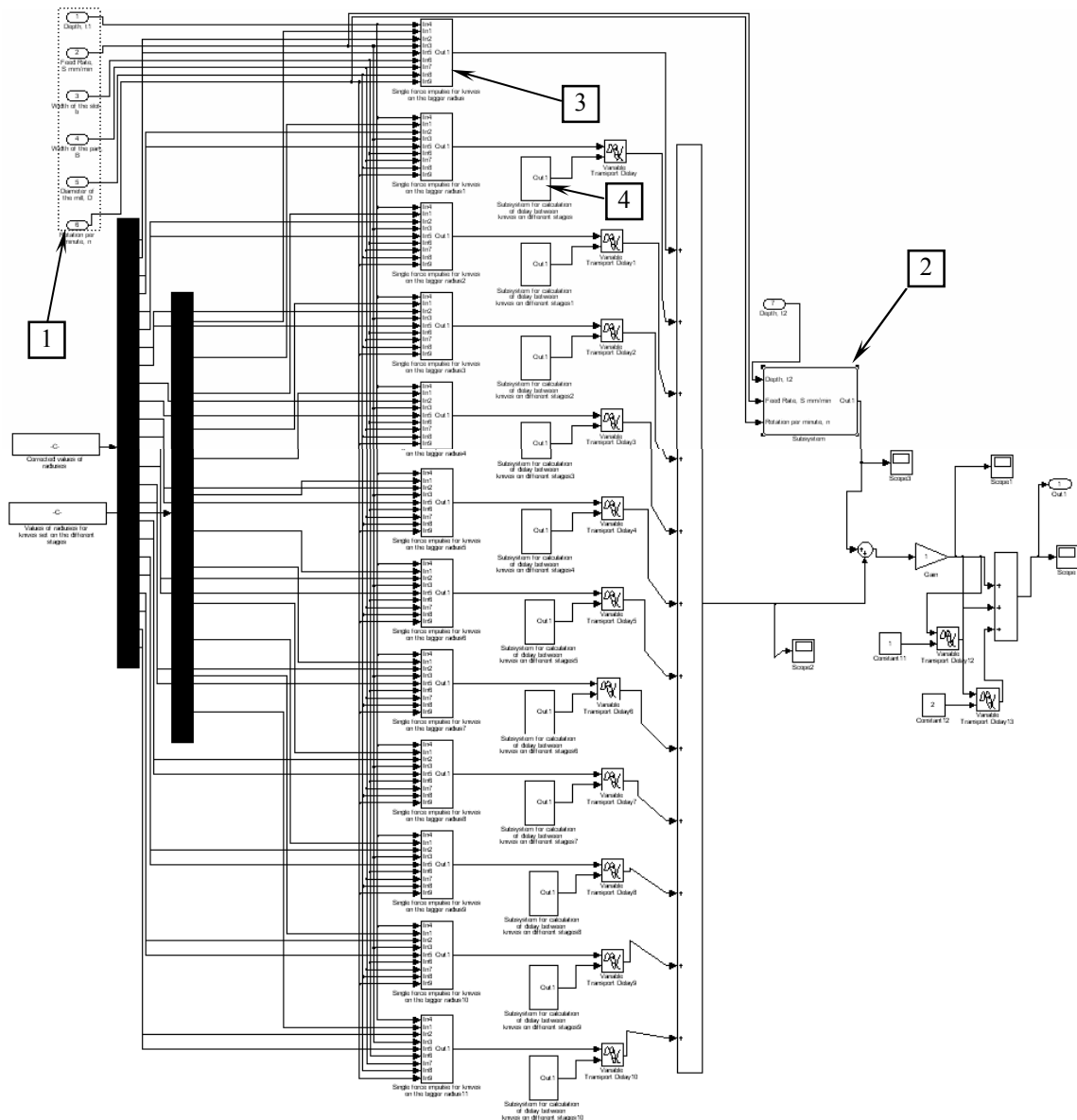


Рис. 8. Схематичне зображення моделі двоступінчастої торцевої фрези, де 1 – вхідні параметри моделювання; 2 – блок визначення сил другої сходинки фрези; 3 – блок визначення миттєвої сили різання на ножах, що знаходяться на однакових радіусах; 4 – блок визначення кутового розташування ножів

Розроблена модель дає змогу отримувати чисельні значення сил різання в будь-який момент часу обробки. За допомогою спеціальної функції передачі даних в Excel графічні результати моделювання можна перевести в цифрові значення, що спростує їх обробку. Це дозволяє знайти критичні точки сил різання та їх середнє значення. Відлік проводиться від моменту встановленого різання.

Також можна варіювати вхідні параметри (такі як діаметри фрез, ширина деталі, ширина пазу, частота обертання, подача, глибина різання) і відслідковувати їх вплив на процес обробки.

За даними роботи [8] рекомендується проводити чистову обробку чавунних деталей фрезою,

оснащеною НТМ, зі швидкістю $V = 800 - 1200$ м/хв. та подачею $S_z = 0,01 - 0,04$ мм/зуб. Щоб визначити раціональну комбінацію сходинок фрези, було проведено моделювання при $S_z = 0,02$ м/зуб та при $V = 800, 1000$ та 1200 м/хв.

За результатами моделювання було побудовано графік залежності коефіцієнта нерівномірності від швидкості фрезерування для дев'яти комбінацій сходинок фрези (рис. 9).

Аналіз отриманих результатів показує, що найменший коефіцієнт нерівномірності має фреза, у якій ножі на першій сходінці розташовані за логарифмічними спіралями, а на другій – стандартне розташування ножів на одному діаметрі.

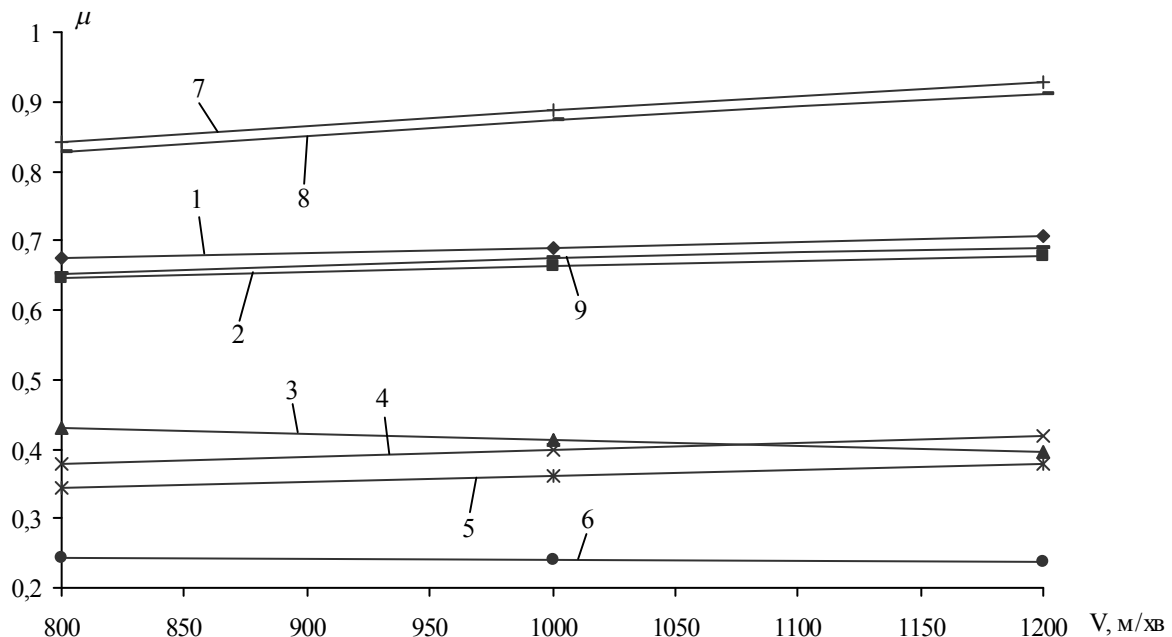


Рис. 9. Графік залежності коефіцієнта нерівномірності від швидкості фрезерування при подачі $S_z = 0,02$ мм/зуб, де різальні ножі на першій і другій сходінках розташовані відповідно: 1 – ножі на першій і другій сходінках розташовані за спіраллю Архімеда; 2 – спіраль Архімеда – логарифмічна спіраль; 3 – спіраль Архімеда – стандартне розташування; 4 – логарифмічна спіраль – спіраль Архімеда; 5 – ножі на першій і другій сходінках розташовані за логарифмічною спіраллю; 6 – логарифмічна спіраль – стандартне розташування; 7 – стандартне розташування – спіраль Архімеда; 8 – стандартне розташування – логарифмічна спіраль; 9 – ножі на першій і другій сходінках розташовані за стандартною схемою

Проаналізуємо вплив подачі та швидкості на коефіцієнт нерівномірності при роботі цієї фрези. Для цього потрібно провести моделювання роботи фрези при $S_z = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04$ мм/зуб і $V = 800; 1000; 1200$ м/хв.

За результатами моделювання було отримано дані залежності коефіцієнта нерівномірності від подачі при різних швидкостях обробки. За цими даними побудували графік залежності коефіцієнта нерівномірності від подачі при фрезеруванні зі швидкістю $V = 800$ м/хв. (для швидкостей $V = 1000$ і 1200 м/хв. графіки подібні).

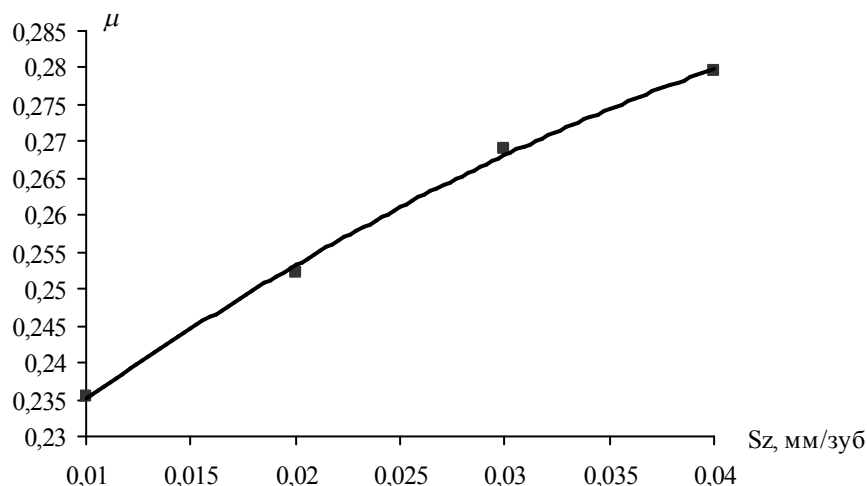


Рис. 10. Графік залежності коефіцієнта нерівномірності від подачі при фрезеруванні зі швидкістю $V = 800$ м/хв. фрезою, у якої ножі на першій сходитинці розташовані за логарифмічною спіраллю, а на другій – стандартне розташування ножів на одному діаметрі

Рівняння апроксимуючого полінома залежності коефіцієнта нерівномірності від подачі має наступний вигляд:

$$\mu = -16,009S_z^2 + 2,2925S_z + 0,2138. \quad (7)$$

Отримані результати показують, що коефіцієнт нерівномірності залежить від подачі, та не суттєво залежить від швидкості фрезерування. Зі збільшенням подачі коефіцієнт нерівномірності зростає.

Висновки.

1. Виконано моделювання процесу обробки деталі типу “салазок” двоступінчастою комбінованою торцевою фрезою.
2. В результаті моделювання одержані значення коефіцієнта нерівномірності процесу різання двоступінчастими комбінованими торцевими фрезами при обробці деталей типу “салазок”.
3. Встановлено, що найбільшу рівномірність процесу обробки забезпечує фреза, у якої на першій сходитинці ножі розташовані за логарифмічною спіраллю, а на другій – стандартне розташування ножів.
4. Визначені математичні залежності коефіцієнта нерівномірності від режимів обробки.
5. В подальших дослідженнях буде проведена експериментальна перевірка результатів моделювання для розробленої конструкції комбінованої фрези.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Маталін А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с.; ил.
2. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 1974. – 334 с.; ил.
3. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів: Монографія. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 507 с.
4. Сенькин Е.Н. Конструкции и эксплуатация фрез, оснащенных композитами. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. – 63 с.; ил.
5. Виговський Г.М. Коливання сил різання при обробці деталей торцевими ступінчастими фрезами // Вісник ЖІТІ. – 1998. – № 9. – С. 28–32.
6. Бушля В.М., Виговський Г.М. Моделювання миттєвих значень сил різання при глибинному торцевому фрезеруванні інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Збірник наукових праць. – 2005. – Вип. № 1. – С. 20–31.
7. Технологические особенности механической обработки инструментом из поликристаллических сверхтвердых материалов / П.В. Захаренко, В.М. Волкогон, А.В. Бочко, и др.; АН УССР ИПМ им. Францевича. – Киев: Наук. думка, 1991. – 288 с.

8. *Лецинер Я.А.* та ін. Лезовий інструмент з надтвердих матеріалів. – К.: Техніка, 1981. – 120 с.; іл. – (Бібліотека передового досвіду).

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, заступник декана факультету інженерної механіки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

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

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- обробка плоских поверхонь комбінованим інструментом.

Подано 22.09.2005

Г.М. Выговський, О.А. Громовий, О.В. Мельник Моделювання обробки деталі типу “салазок” Двоступінчастою комбінованою торцевою фрезею

УДК 621.914

Моделирование обработки детали типа “салазок” двухступенчатой комбинированной торцевой фрезой / **Г.Н. Выговский, А.А. Громовой, А.В.Мельник**

В работе выполнено моделирование обработки детали типа “салазок” двухступенчатой комбинированной торцевой фрезой. Также определено наиболее рациональное размещение резальных ножей на каждой ступени фрезы

В роботі виконано моделювання обробки деталі типу “салазок” двоступінчастою комбінованою торцевою фрезею. А також визначено найбільш раціональне розташування різальних ножів на кожній сходинці фрези.

Simulation of machining process of slide parts by double stage face milling cutter

The article is devoted to processing simulation results of face milling cutter action while machining slides, and is also devoted to defining the most rational location of cutting elements on each stage of the cutter.

Vygovskyy G.M., Gromovyy O.A., Melnyk O.V. Simulation of machining process of slide parts by double stage face milling cutter.