

**Г.М. Виговський, доц.  
О.А. Громовий, асистент  
П.П. Мельничук, к.т.н., доц.**

*Житомирський інженерно-технологічний інститут*

**ВИКОРИСТАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ РІЗАННЯ  
ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ**

*На основі теоретичного розгляду схем торцевого фрезерування визначені напрямлення удосконалення конструкцій фрез та запропонована конструкція інструменту з регулюванням радіального розташування різальних ножів в процесі обробки.*

1. При обробці плоских поверхонь використовуються схеми торцевого фрезерування, при яких видалення припуску здійснюється нерухомими відносно корпусу фрези ножами [1–4], а також ножами, що змінюють своє положення відносно корпусу фрези (рис. 1) [5–8].



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, при чому для останньої рух РН здійснюється за допомогою регулюючих пристроїв, які здійснюють зворотний зв'язок.

Підвищення продуктивності та якості обробки в сучасних конструкціях чистових торцевих фрез, в яких використані статичні схеми різання, досягається:

- 1) збільшенням можливого числа РН при зменшенні габаритів механізмів їх кріплення та регулювання, а також підвищення надійності фіксації РН у корпусі фрези [1, 2];
- 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 [3];
- 3) забезпеченням одночасного регулювання кутів у плані та осьового вильоту РН [4];
- 4) використанням фрезерування торцевими фрезами з полікристалічними надтвердими матеріалами (ПНТМ), 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.

Існують конструкції торцевих фрез, де використані кінематичні схеми фрезерування [5, 6].

В торцевій фрезі [5], яка реалізує спосіб плоского фрезерування з кінематичною схемою фрезерування, підвищення продуктивності торцевого фрезерування відбувається установкою нерухомих чорнових РН на більшому радіусі і з меншим осьовим вильотом, ніж рухомі по копіру чистові РН, що встановлені з більшим осьовим вильотом (рис. 2).

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

Відома також конструкція [6], яка реалізує спосіб плоского фрезерування, де підвищення стійкості різального інструменту здійснюється завдяки тому, що в корпусі фрези встановлені РН, підпружинені до нерухомого відносно корпусу фрези кулачка, встановленого співвісно з корпусом. Кулачок виконаний у вигляді циліндра з плоскою, паралельною осі лискою, а РН підпружинені до нього в радіальному напрямку (рис. 3).

Недоліком такої конструкції є розташування 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.

Подальшим направленням вдосконалення торцевих фрез може бути використання динамічних схем. Для ряду конструкцій торцевих фрез можуть бути використані динамічні схеми фрезерування [7, 8] з:

1) врівноваженням осьових сил різання та стабілізації сил закріплення [7];

2) підвищенням стійкості інструменту при саморегулюванні радіального положення РН за величиною сили різання безпосередньо у процесі роботи інструменту [8].

Недостатність теоретичних та експериментальних даних не дозволяє повною мірою використовувати ці схеми.

Тому в подальшому розглянемо можливість використання більш поширених кінематичних схем фрезерування для підвищення якості оброблених поверхонь.

II. Шорсткість обробленої поверхні є одним із найважливіших показників якості.

Дослідженнями встановлено [9], що дійсна висота мікронерівностей значною мірою відрізняється від теоретичної, розрахункової шорсткості та визначається за формулою:

$$Rz = Rz_{розр} + \Delta Rz + \Delta Rz_e + \Delta R_{\Sigma}, \tag{1}$$

де  $Rz_{розр}$  – розрахункова висота мікронерівностей;

$\Delta Rz$  – складова, яка враховує вплив фізико-механічних явищ при різанні;

$\Delta Rz_e$  – складова, яка враховує вплив динамічних явищ при різанні;

$\Delta R_{\Sigma}$  – складова, яка враховує вплив похибок технологічної системи:

$$\Delta R_{\Sigma} = \Delta_{уст} + \Delta_{пр} + \Delta_{фр} + \Delta_{ел} + \Delta_{геом} + \Delta_{кін} + \Delta_{дин}, \tag{2}$$

де  $\Delta_{уст}$ ,  $\Delta_{пр}$  – зміна висоти мікронерівностей за рахунок похибок установки та закріплення заготовки на верстаті та нерівномірності припуску заготовки;

$\Delta_{фр}$ ,  $\Delta_{ел}$  – зміна висоти мікронерівностей за рахунок похибок установки і закріплення фрези на верстаті та взаємного розташування РН фрези;

$\Delta_{геом}$ ,  $\Delta_{кін}$ ,  $\Delta_{дин}$  – зміна висоти мікронерівностей за рахунок похибок та мінливості геометричних, кінематичних та динамічних параметрів верстата.

Розрахункова висота мікронерівностей може бути визначена за формулою:

$$Rz_{розр} = \frac{S_z^2}{8r} \left( 1 - \frac{x^2}{R^2} \right), \tag{3}$$

де  $S_z$  – подача на зуб;

$r$  – радіус при вершині ножа;

$x$  – відстань зсуву площини, в якій вимірюється шорсткість;

$R$  – радіус фрези.

Розрахункова висота мікронерівностей для торцевої фрези  $R = 157$  мм,  $r = 12$  мм, при  $S_z = 0,25$  мм/зуб в залежності від зсуву площини, в якій вимірюється шорсткість, показана на рис. 4.

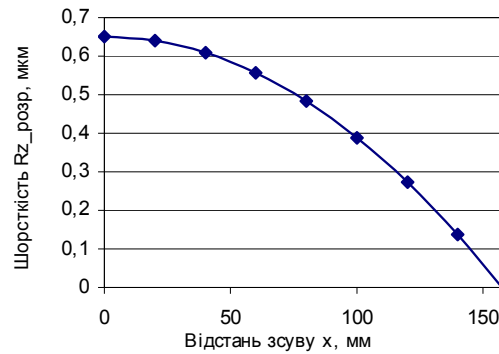


Рис. 4. Розрахункова висота мікронерівностей в залежності від зсуву площини, в якій вимірюється шорсткість

Таким чином, отримуємо змінну шорсткість обробленої поверхні по дузі контакту РН із заготовкою, а коливання товщини зрізу призводить до періодичних коливань складових сили різання.

При традиційній схемі розташування фрези відносно заготовки з коловою траєкторією РН товщина зрізу є також змінною і може бути розрахована за залежністю [10]:

$$a = S_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin \psi_i \tag{4}$$

де  $a$  – товщина зрізу;

$S_z$  – подача на зуб;

$\varphi$  – кут у плані;

$\psi_i$  – миттєвий кут.

Періодичні коливання товщини зрізу призводять до деформацій в системі ВПД, що також негативно впливає на якість обробленої поверхні.

III. Для стабілізації шорсткості обробленої поверхні та збільшення стійкості фрез авторами запропоновано наступне.

При обертанні фрези РН рухаються за незалежною траєкторією, де чорнові та напівчистові РН знімають припуск за коловою траєкторією, а чистовий РН, що формує оброблювану поверхню, розташований в радіальному напрямку на найменшій відстані від осі фрези з найбільшим вильотом відносно корпусу фрези, рухається за прямолінійною траєкторією за рахунок підпружинення в радіальному напрямку до нерухомого відносно корпусу фрези шаблону, який має плоску лиску, перпендикулярну до вектора подачі.

Зрізання припуску чистовими РН відбувається з максимальною товщиною зрізу:

$$a = S_z \cdot \sin \varphi \cdot \sin 90^\circ = S_z \cdot \sin \varphi \tag{5}$$

Таким чином, збільшується стійкість чорнових ножів фрези за рахунок зменшення товщини перерізу на ділянках входу і виходу різального ножа із зони обробки при коловій траєкторії різання, а якість оброблюваної поверхні підвищується за рахунок використання лінійної траєкторії різання чистовим ножом, що призводить до стабільної висоти мікронерівностей вздовж ширини оброблюваної поверхні.

Прогнозована теоретична висота мікронерівностей буде становити 0,65 мкм.

Для реалізації вищевказаного авторами пропонується конструкція торцевої фрези з рухомих плунжером (рис. 5).

В корпусі торцевої фрези встановлені різальні вузли для радіального переміщення. Ці вузли складаються з РН та плунжера для того, щоб підвищити стійкість інструменту шляхом забезпечення регулювання радіального положення РН. Кожен різальний вузол оснащений пружиною та регулювальним гвинтом, який взаємодіє через пружину з плунжером.

У корпусі 1 розміщений плунжер 2 з РН 3, які утримуються конусом 4 та штирем 5 і регулюються мікрометричним гвинтом 6. У радіальних отворах корпусу між регулюючим гвинтом 7 та плунжером 2 розміщена пружина 8. Для того, щоб утримувати плунжер 2 від перекосу в корпусі запресовується штифт 9. У плунжері 2 кріпиться за допомогою гвинта бронзовий штир 10, на якому кріпиться підшипник 11. В процесі різання штир 10 рухається по шаблону 12 та заставляє рухатися плунжер 2 у радіальному напрямку. За рахунок цього РН 3 описує необхідну прямолінійну траєкторію в зоні обробки. РН розташовані

по спірално-ступінчастій схемі, що сприяє підвищенню якості та продуктивності обробки. Для чорнових, напівчистових та чистових РН використовується одне й теж саме закріплення, що дає можливість підвищити технологічність та спростити збірку фрези.

Закріплення РН відбувається наступним чином.

У плунжері 2 виконаний отвір для штиря 5, на якому з обох кінців нарізані різьби. На штир 5 насаджується конус 4 та загвинчується гайкою 13 та контргайкою 14 для запобігання відгвинчування гайки 13. Потім зібраний вузол вставляють у отвір плунжера 2. РН 3 закріплюється за рахунок переміщення вправо штиря 5 при загвинчуванні гайки 15. РН затягується після його кінцевого виставлення на необхідну глибину різання.

IV. Використання запропонованого способу фрезерування плоских поверхонь забезпечує порівняно з відомими наступні переваги:

- отримання стабільної шорсткості поверхні вздовж ширини обробки за рахунок використання лінійної траєкторії різання чистовим ножем;
- збільшення стійкості чорнових ножів фрези за рахунок зменшення товщини зрізу на ділянках входу і виходу РН із зони обробки при коловій траєкторії різання.

В подальшому, використовуючи запроповану конструкцію торцевої фрези, планується перехід до динамічної схеми різання, яка дозволить за рахунок зворотних зв'язків стабілізувати силові фактори фрезерування, зменшити вібрації системи і, таким чином, досягти оптимального співвідношення продуктивності та якості чистової обробки плоских і криволінійних поверхонь.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Фреза торцовая регулируемая: А.с. 1289620 СССР, МКИ 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.
2. Торцовая фреза: А.с. 1278119 СССР, МКИ В 23 С 5/06 / В.Я. Шевченко (СССР). – № 3883786/30-08; Заявлено 15.04.85; Опубл. 23.12.86, Бюл. № 47. – 2 с.
3. Торцовая фреза: А.с. 814597 СССР, МКИ 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.
4. Торцовая фреза: А.с. 1296318 СССР, МКИ В 23 С 5/06 / В.Н. Скворцов (СССР). – № 3698609/25-08; Заявлено 08.02.84; Опубл. 15.03.87, Бюл. № 10. – 2 с.
5. Торцовая фреза: А.с. 971591 СССР, МКИ 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.
6. Торцовая фреза: А.с. 1641523 СССР, МКИ В 23 С 5/06 / П.В. Кушниров, В.Н. Червяков (СССР). – № 4680865/08; Заявлено 18.04.89; Опубл. 15.04.91, Бюл. № 14. – 2 с.
7. Торцовая регулируемая фреза: А.с. 1576252 СССР, МКИ 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.
8. Фреза: А.с. 1155375 СССР, МКИ В 23 С 5/06 / Н.Н. Коротун (СССР). – № 3684441/25-08; Заявлено 30.12.83; Опубл. 15.05.85, Бюл. № 18. – 2 с.
9. *Выговский Г.М., Мельничук П.П.* Безвершинне косокутне фрезерування. Шорсткість поверхні // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 1999. – Вып. 37. – С. 262–275.
10. *Розенберг А.М., Розенберг О.А.* Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наук. думка, 1990. – 320 с.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – заступник першого проректора Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

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

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – асистент кафедри “Технологія машинобудування та конструювання технічних систем” Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

МЕЛЬНИЧУК Петро Петрович – кандидат технічних наук, доцент, перший проректор Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- дослідження у галузі механіки руйнування;
- технологія машинобудування.

Подано 03.12.1999.