

**Ю.Й. Бесарабець, к.т.н., доц.**  
*Національний технічний університет України «КПІ»*  
**Е.Р. Ванієв, ст. викл.**  
**Ч.Ф. Якубов, к.т.н., доц.**  
*РВУЗ «Кримський інженерно-педагогічний університет»*

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ФРЕЗ, ЗМІЦНЕНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ МОДИФІКОВАНИХ ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

*У статті викладено моделювання з використанням методів групового врахування аргументів (МГВА) за невеликою кількістю експериментальних даних стійкості зміцнених циліндричних фрез у присутності різних технологічних середовищ. Модель отримана у вигляді залежності стійкості від швидкості припрацювання (формування вторинних зміцнених структур), подачі на зуб, швидкості фрезерування після припрацювання, глибини різання і коефіцієнта адгезійної складової пари тертя, Р6М5–12Х18Н10Т у присутності різних технологічних середовищ.*

*Аналіз моделі показує, що найбільший вплив у заданому діапазоні зміни досліджуваних чинників на стійкість фрез надає швидкість фрезерування після припрацювання, подача і швидкість його в тісному взаємозв'язку контрольованих параметрів між собою.*

**Вступ.** Дослідженнями встановлено, що мастильно охолоджувальне технологічне середовище, знижуючи площу контакту стружки з передньою поверхнею інструмента обумовлює зростання питомих навантажень, що призводить до посилення деформації контактних шарів поверхонь пари тертя та їх трансформації в напрямку зміцнення.

Ці дослідження, головним чином, проводились при точінні, свердлінні, різьбонарізанні та ін., тобто для інструментів, які мають безперервний контакт з оброблюваною поверхнею. Для інструментів з переривчастим контактом його різальних елементів (до яких належать і циліндричні фрези) таких досліджень не проводилось. Цим і обумовлене визначення можливості й умов формування вторинних зміцнених структур при циліндричному фрезеруванні сталі 12Х18Н10Т з використанням різних модифікованих охолоджуючих технічних середовищ (МОТС).

Аналізуючи схему формування вторинних структур, слід зазначити, що джерелом їх утворення є силові і теплові навантаження, які залежать від умов експлуатації інструмента в процесі різання. Для заданого оброблюваного матеріалу і певної конструкції швидкорізального інструмента ці навантаження залежать від режимів різання та характеристик МОТС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес зношування інструмента характеризується трьома стадіями, а саме: припрацюванням, нормальним та катастрофічним зносами [1, 2]. Відомо, що в процесі припрацювання можуть формуватися на контактних поверхнях інструмента вторинні зміцнені структури, які за міцністю перевищують вихідні [4, 5, 8]. Оптимальні умови для утворення таких вторинних структур на поверхнях швидкорізального інструмента за даними роботи відповідають температурному діапазону 200–400° і залежать від рівня нормальних навантажувальних напружень. Зазначається, що при різанні високоміцних та високопластичних матеріалів, до яких належить і сталь 12Х18Н10Т, забезпечується відносно рівномірна щільність контакту, а зміцнення має більш стабільний характер, що позитивно впливає на стійкість швидкорізального інструмента.

Відомо [5, 6], що формування зміцнених структур при різанні пластичних матеріалів реалізується за схемою: силові та теплові навантаження → пластична деформація поверхневих прошарків пари тертя → утворення вторинних структур і далі знос (втомлене руйнування) фрагментів, що вичерпали запас пластичності.

**Постановка завдання.** З огляду на зазначене, виникає задача дослідження формування вторинних структур та її впливу на стійкість інструмента за різних умов як їх утворення, так і подальшої експлуатації інструмента.

Одним із ефективних шляхів розв'язання цієї задачі є математичне моделювання стійкості циліндричних фрез, що і вирішується в даній роботі.

**Викладення основного матеріалу дослідження. Методика досліджень.** Процес фрезерування як і будь-який процес оброблення різанням характеризується взаємовпливом ряду змінних факторів. Математичне моделювання стійкості зміцнених циліндричних фрез з використанням різних МОТС передбачало визначення залежності стійкості від умов формування вторинних структур та від умов подальшої експлуатації цього інструмента при різних режимах фрезерування в присутності різних МОТС.

Для визначення такої залежності серед існуючих методів та алгоритмів, що використовуються для моделювання процесів різання та роботи різальних інструментів, був обраний один із методів самоорганізації – метод групового врахування аргументів (МГВА). Цей метод призначений для моделювання багатофакторних об'єктів і процесів за невеликою кількістю експериментальних даних [6, 7].

Таким чином, для визначення доцільних умов формування вторинних структур (припрацювання) у присутності різного технологічного середовища та їх вплив на стійкість фрез необхідно побудувати модель за експериментальними даними на основі МГВА. Як змінні були обрані швидкість різання припрацювання –  $V_{\text{пр}}$  м/хв. ( $x_1$ ); подача на зуб –  $S_z$  мм/зуб ( $x_2$ ), швидкість фрезерування після припрацювання інструмента –  $V_0$  м/хв. ( $x_3$ ), глибина різання –  $t$  мм ( $x_4$ ) та різні види технологічного середовища, а саме: без МОТС (суха обробка) та з МОТС: МР-99, И-20, касторове та рапсове масла. Як кількісна характеристика МОТС використовувався коефіцієнт  $\mu$  адгезійної складової пари тертя матеріал інструмента – оброблюваний матеріал.

Для досліджень була обрана двозуба дискова фреза з шириною зуба  $B = 10$  мм, яка працювала за схемою циліндричної з постійною шириною фрезерування 7 мм.

Вибір фрези з такими параметрами був обумовлений економією оброблюваного матеріалу та характером довжини контакту одного зуба в процесі фрезерування.

Характеристикою трибологічних властивостей технологічних середовищ, в яких проводились дослідження, був обраний коефіцієнт адгезійної складової пари тертя (Р6М5–12Х18Н10Т) [8].

Діапазон зміни досліджуваних факторів при моделюванні стійкості фрез обирався на основі літературних джерел та нормативних документів і наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

Діапазон зміни факторів

Фактор Рівень	$V_{\text{пр}}$ , м/хв. ( $x_1$ )	$S_z$ , мм/зуб ( $x_2$ )	$V_0$ , м/хв. ( $x_3$ )	$t$ , мм ( $x_4$ )	$\mu$ ( $x_5$ )
Верхній	28	0,3	28	2	0,31
Нижній	12,6	0,1	50	0,4	0,13

Оскільки алгоритми МГВА можуть працювати в умовах як активного, так і пасивного експерименту, то був складний статистичний план (31 експеримент), де контрольовані фактори в межах їх змін варіювались на п'яти рівнях. Слід зазначити, що коефіцієнт  $\mu$  для кожного з п'яти досліджуваних середовищ у межах їх зміни фіксувався від більшого (вищий рівень) до найменшого з досліджуваних (нижній рівень). Значення факторів заносились у матрицю експериментальних даних.

*Моделювання стійкості.* Для побудови моделі з використанням спрощеного модифікованого алгоритму МГВА необхідно було обрати простір вихідних даних. Досвід використання алгоритмів МГВА для одержання моделі процесів різання та стійкості інструментів показав, що цей простір необхідно задавати з врахуванням виду функцій, якими апріорі описується процес.

В різанні металів для визначення залежності стійкості від режимів різання використовують логарифмічні функції  $\ln \bar{x}(\lg \bar{x})$  [7].

Оскільки задача моделювання зводилась до визначення залежності стійкості не тільки від режимів різання, але й від характеристик обраних МОТС, а вид функції такого зв'язку невідомий, то простір вихідних даних в інформаційній матриці був розширений до  $\bar{x}, \ln \bar{x}$ .

Стійкість  $T$  як вихідний параметр у матрицю вихідних даних вводився в просторі  $\ln \theta$ .

Стійкість інструмента є випадковою, залежною від множини параметрів функціонування технологічної системи, котрі неможливо врахувати навіть у лабораторних умовах. Тому при моделюванні вихідний параметр описується математичним очікуванням стійкості з врахуванням обраного масштабного простору. Кожен із векторів  $\bar{x}, \ln \bar{x}$  містить п'ять змінних:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \|x_1, \dots, x_5\| \\ \ln \bar{x} &= \|\ln x_1, \dots, \ln x_5\|. \end{aligned} \quad (1)$$

Таким чином, задача синтезу моделі стійкості з використанням спрощеного алгоритму МГВА зводиться до побудови функції:

$$M(\ln y / \bar{x}, \ln \bar{x}) = F(\ln y / \bar{x}, \ln \bar{x}, \theta), \quad (2)$$

де  $M(\ln y / \bar{x}, \ln \bar{x})$  – математичне очікування середньої величини  $\ln y$ ;  $F(\ln y / \bar{x}, \ln \bar{x})$  – невідомий за видом і структурою оператор (функціональний зв'язок);  $\bar{\theta} = \|\theta_0, \theta_1 \dots \theta_5\|$  – невідомий вектор оцінюваних параметрів.

В результаті обробки експериментальних даних одержана модель, яка з точністю 15 %, описує залежність стійкості від досліджуваних змінних:

$$\begin{aligned} \ln T = & 8,913 - 3,899 \cdot \ln V_0 \cdot S_z + 3,88 \cdot 10^{-1} \cdot \ln V_0 \cdot \ln S_z - \\ & - 1,578 \cdot S_z \cdot \ln \mu \cdot \ln V_0 + 3,316 \cdot 10^{-4} \cdot V_0 \cdot \mu \cdot (\ln V_0)^2 (\ln S_z)^2 - \\ & - 3,528 \cdot 10^{-3} V_0 \cdot t \cdot S_z^2 \ln \mu \cdot \ln V_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналіз структури моделі показує, що в межах зміни досліджуваних параметрів процесу циліндричного фрезерування найбільший вплив на стійкість інструмента здійснює подача на зуб  $S_z$  та швидкість різання після припрацювання фрез  $V_0$ . Меншою мірою на стійкість фрез впливають технологічне середовище і глибина різання.

За структурою моделі зі збільшенням  $V_0$  та  $S_z$  стійкість інструмента зменшується. Вплив досліджуваних змінних на стійкість здійснюється в тісному взаємозв'язку один з одним.

Вплив швидкості припрацювання  $V_{пр}$ , яка є основним режимним фактором для утворення вторинних зміцнених структур, не виявлено. Це може пояснюватись тим, що швидкість  $V_{пр}$  та подача на зуб  $S_z$  обумовлюють хвилинну подачу.

При формуванні експериментальних даних для побудови математичної моделі діапазон зміни  $S_z$  був один і той же як для припрацювання, так і при нормальному фрезеруванні. Діапазон зміни  $V_{пр}$  і  $V_0$  були різними (табл. 1). Таким чином, основний режим припрацювання визначався хвилинною подачею. Тому можна припустити, що основним параметром утворення вторинних зміцнених структур є хвилинна подача, що потребує подальших досліджень.

**Висновок та перспективи подальших досліджень.** З аналізу структури моделі можна прийти до висновку, що стійкість буде найвищою при подальшій експлуатації фрези, якщо швидкість  $V_0$  та подача  $S_z$  будуть лежати на нижній границі обраного діапазону змінних. Також можна припустити, що основним параметром утворення вторинних зміцнених структур є хвилинна подача.

#### Список використаної літератури:

1. *Бобров В.Ф.* Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. *Подураев В.Н.* Резание труднообрабатываемых материалов / В.Н. Подураев. – М. : Высшая школа, 1974. – 587 с.
3. *Якубов Ф.Я.* Пути повышения стойкости металлорежущих инструментов на основе анализа термодинамики контактных процессов : дис. ... докт. техн. наук : 05.03.01 / Ф.Я. Якубов. – Ташкент–Тбилиси : ТПИ, 1984. – 414 с.
4. *Карасюк И.Н.* Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения / И.Н. Карасюк. – М. : Наука, 1978. – 186 с.
5. *Якубов Ч.Ф.* Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием / Ч.Ф. Якубов. – Симферополь : ОАО «Симферопольская городская типография» (СГТ), 2008. – 156 с.
6. *Патерэу С.Г.* О математической модели процесса обработки металлов резанием / С.Г. Патерэу, Н.С. Равская, В.М. Кульчий // Автоматика. – 1975. – № 3.
7. *Родин П.Р.* Монолитные твердосплавные концевые фрезы / П.Р. Родин, Н.С. Равская, А.И. Касьянов. – К. : Вища школа, 1985. – 64 с.
8. *Залогова В.А.* Влияние различных СОТС на адгезионную составляющую коэффициента трения при высоких контактных давлениях / В.А. Залогова, О.А. Залогова, Э.Р. Ваниев // Вісник СевНТУ / Машиноприладобудування та транспорт. – 2011. – Вип. 118. – С. 37–40.

БЕСАРАБЕЦЬ Юрій Йосипович – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- проектування та випробування різального інструмента для оброблення різних матеріалів;
- CAD/CAM-системи.

ВАНІСВ Ельдар Рустемович – старший викладач Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет».

Наукові інтереси:

- оброблення металів різанням.

ЯКУБОВ Чингиз Февзийович – кандидат технічних наук, доцент Республіканського вищого навчального закладу «Кримський інженерно-педагогічний університет».

Наукові інтереси:

– оброблення металів різанням.

Стаття надійшла до редакції 08.10.2012