

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 – $V_{пр}$ 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 μ 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	$V_{пр}$, м/хв. (x_1)	S_z , мм/зуб (x_2)	V_0 , м/хв. (x_3)	t , мм (x_4)	μ (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 μ 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 $V_{\text{пр}}$, яка є основним режимним фактором для утворення вторинних зміцнених структур, не виявлено. Це може пояснюватись тим, що швидкість $V_{\text{пр}}$ 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 $V_{\text{пр}}$ 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. Залоза В.А. Влияние различных СОТС на адгезионную составляющую коэффициента трения при высоких контактных давлениях / В.А. Залоза, О.А. Залоза, Э.Р. Ванцев // 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