

С.А. Крижанівський, аспір.
М.П. Мазур, зав. кафедрою
Р.І. Сілін, д.т.н., проф.

Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КІНЦЕВИХ ФРЕЗ ДЛЯ ПРОЦЕСУ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Розглянуто особливості процесу механічної обробки контуру кінцевим інструментом. Наведені результати моделювання методом скінченних елементів напружено-деформованого стану кінцевих фрез із правим та лівим нахилом гвинтових канавок для випадку зустрічного та попутного фрезерування.

Фрезерування, як процес механічної обробки, на сьогоднішній день є однією з найпоширеніших операцій, що використовується в сучасному машинобудуванні.

Характерною особливістю процесу контурного фрезерування є наявність нерівномірного розподілу припуску вздовж оброблюваних поверхонь. Це призводить до значних коливань сил різання під час виконання операції на металорізальному обладнанні. Можливі наслідки цього явища – це втрата точності, продуктивності, поломка ріжучого інструмента. Якщо оброблюваний контур розглядати як сукупність елементарних ділянок, що утворені відрізками прямих ліній та дуг, де кожна ділянка характеризується своїми значеннями припуску, то визначення оптимальних режимів різання для кожної ділянки контуру на основі аналізу напружено-деформованого стану (НДС) кінцевого інструмента можна вважати одним із варіантів підвищення ефективності процесу контурної обробки.

Результати статистичного аналізу відмов кінцевих фрез [2], проведеного з метою виявлення характерних причин передчасного виходу з ладу, свідчать про те, що переважаючим видом є руйнування в області виходу стружкових канавок: 91 % – для цільних фрез, 50 % – для зварних. Розв'язуючи задачу визначення напружено-деформованого стану кінцевої фрези класичними методами опору матеріалів, застосувавши схему жорстко защемленої балки круглого перетину [1, 2], навантаженої зосередженою силою, неможливо отримати повну картину розподілу нормальних та дотичних напружень на поверхні ріжучого інструмента. Крім того, можна заздалегідь стверджувати, що максимальні напруження виникнуть поблизу площини защемлення. Таку схему можна вважати непридатною, так як крім своїх основних недоліків вона не враховує конструктивні та геометричні параметри ріжучого інструмента. Одним із рішень щодо розв'язання подібних задач є застосування методу скінченних елементів (МСЕ). Використання просторових типів елементів [4], зокрема тетраєдрів, дозволяє: врахувати об'ємний вигляд навантаження, визначити об'ємний напружено-деформований стан деталей складної конструкції.

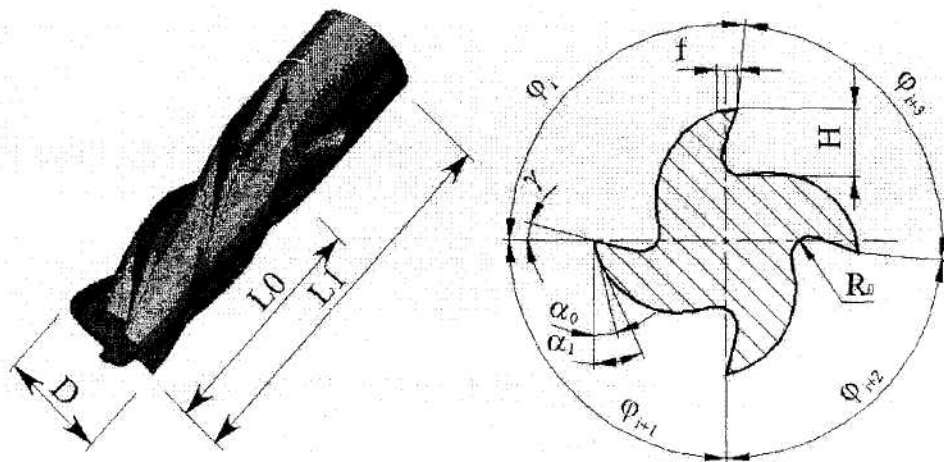


Рис. 1. Конструктивні та геометричні параметри цільних кінцевих фрез

Результати моделювання НДС кінцевих фрез багато в чому залежать від того, наскільки точно відповідає розрахункова скінченно-елементна модель реальній конструкції інструмента. Автоматизація процесу побудови скінченно-елементних моделей кінцевих фрез цілком виправдовує себе з врахуванням необхідності використання не однієї сталої моделі, а групи моделей кінцевих фрез із різними конструктивними та геометричними параметрами.

Розроблений авторами алгоритм дозволяє максимально наблизити розрахункову модель МСЕ до реального прототипу з врахуванням усіх важливих конструктивних та геометричних параметрів кінцевих фрез (рис. 1). На рис. 2 зображено скінченно-елементні моделі цільних кінцевих фрез із різним числом зубів: $a - Z = 4$, $b - Z = 5$, $в - Z = 6$ та різним кутом нахилу гвинтових канавок: $a, в$ – правий, b – лівий.

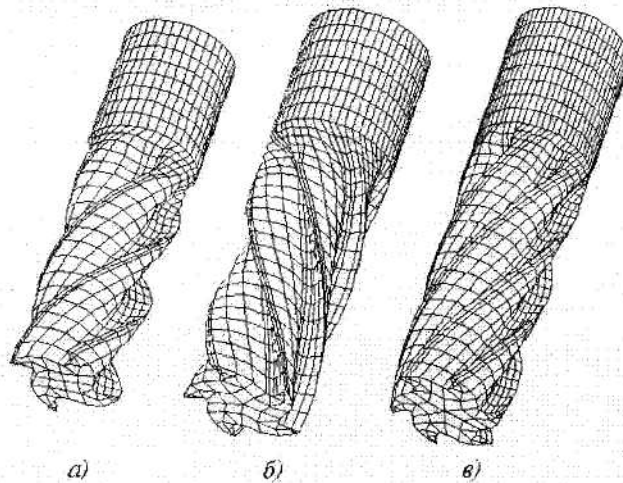


Рис. 2. МСЕ моделі цільних кінцевих фрез

При моделюванні НДС кінцевої фрези під час механічної обробки контуру необхідно врахувати той факт, що в процесі зняття припуску одночасно беруть участь кілька ріжучих зубів; товщина зрізуваного шару, довжина контакту, а відповідно і навантаження по довжині гвинтової ріжучої кромки розподілено нерівномірно; сили різання, що діють на одну, окремо взятю ділянку ріжучої кромки, залежать від того, де в даний момент часу знаходиться ця ділянка на дузі контакту фрези та заготовки.

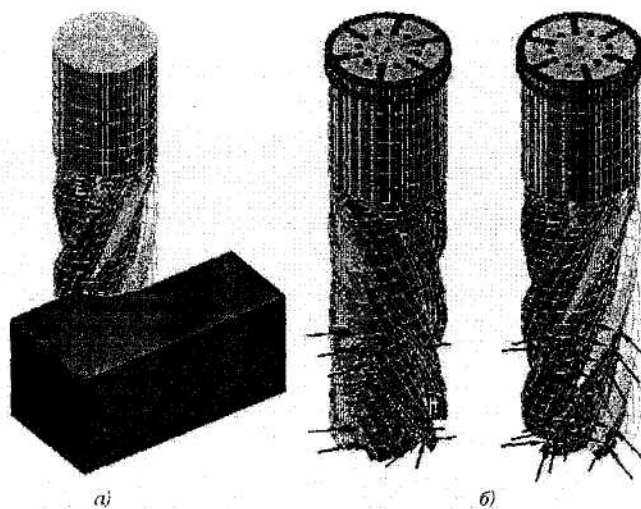


Рис. 3. Розрахункові схеми навантаження кінцевих фрез

Методом скінченних елементів було отримано напружено-деформований стан кінцевої фрези ($\varnothing 18$ мм, $Z = 6$, $\omega = 30^\circ$) для випадку коли одночасно в процесі зняття припуску беруть участь три ріжучих зуби (рис. 3, a). Розглянуто два варіанти моделей кінцевих фрез: із

правим та лівим нахилом гвинтових зубів. Для кожного варіанту моделі ріжучого інструмента, з врахуванням особливостей процесу контурного фрезерування, було застосовано відповідну схему навантаження (рис. 3, б). Для визначення характеру зміни напружено-деформованого стану ріжучого інструмента в процесі обертання було проведено серію моделюючих дослідів з застосуванням схем зустрічного та попутнього фрезерування.

Результати моделювання (рис. 4) показали, що максимально-нормальні напруження виникають на ділянках прикладання зовнішнього навантаження та в місцях виходу стружкових канавок; максимальні дотичні напруження виникають на ділянках, що розташовані поблизу дна стружкових канавок та в місцях їх виходу; небезпечним місцем, тобто концентратором напружень в конструкції кінцевих фрез, є ділянка виходу стружкових канавок. Якщо взяти до уваги той факт, що ці ділянки циклічно працюють в умовах стиску та розтягу, то стане зрозумілим, що саме в цих місцях слід очікувати появу мікротріщин, які розвиваючись, призводять до передчасної поломки ріжучого інструмента.

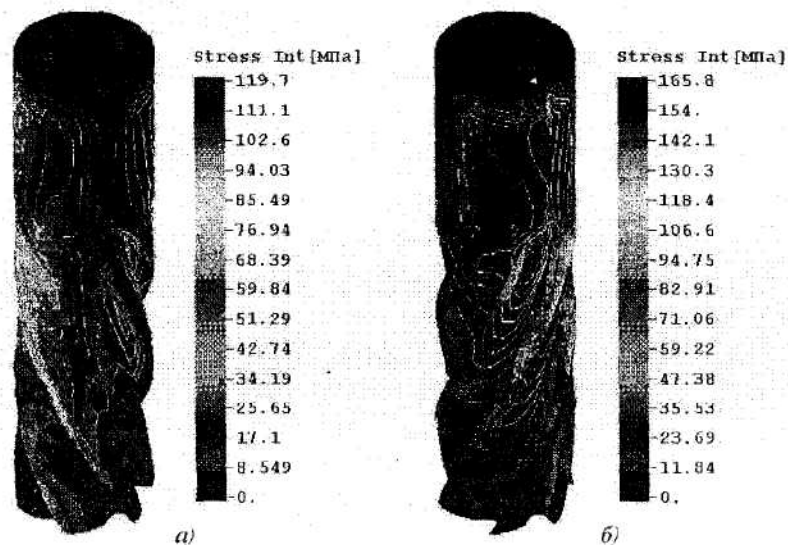


Рис. 4. Напружено-деформований стан цільних кінцевих фрез а) з лівим нахилом гвинтових зубів; б) з правим нахилом гвинтових зубів

Необхідно також звернути увагу на той факт, що при однакових початкових умовах напружено-деформований стан кінцевих фрез із правим та лівим нахилом гвинтових канавок суттєво відрізняється: для фрез із лівим нахилом інтенсивність напружень в області виходу стружкових канавок на 15 %...20 % менша в порівнянні із напруженнями в аналогічній області для інструмента з правим нахилом. Ця закономірність зберігається напротязі всього процесу обертання ріжучого інструмента як для випадку зустрічного (рис. 5), так і для випадку попутнього (рис. 6) фрезерування. Причину цього явища слід шукати в особливостях напрямку дії контактних напружень на ділянках ріжучого зуба. Відмінність характеру зміни напружень при зустрічному та попутньому фрезеруванні обумовлена використанням різних схем різання.

За результатами проведених досліджень можна зробити наступні висновки: метод скінченних елементів дозволяє отримати більш точні та якісні рішення задач аналізу напружено-деформованого стану кінцевих фрез, у порівнянні з класичними методами опору матеріалів; на загальний напружено-деформований стан ріжучого інструмента впливають як технологічні параметри процесу різання (глибина, подача, швидкість), так і конструктивні та геометричні параметри кінцевих фрез; застосування кінцевих фрез із лівим нахилом гвинтових канавок дозволяє зменшити напруження, що виникають в інструменті під час механічної обробки на 20 %, у порівнянні з аналогічним інструментом, але з правим нахилом гвинтових зубів.



Рис. 5. Інтенсивність напружень ріжучого інструмента для випадку зустрічного фрезерування



Рис. 6. Інтенсивність напружень ріжучого інструмента для випадку попутного фрезерування

ЛІТЕРАТУРА:

1. С.И. Тахман, Исследование особенностей контурного фрезерования с целью достижения заданной точности и повышение производительности обработки на фрезерных станках с ЧПУ. Автореферат дис. ... к.т.н. – Новосибирск, 1974.
2. В.М. Свинин, Исследование устойчивости движения и оптимизации технологических параметров при черновом концевом фрезеровании. Автореф. дис. ... к.т.н. – Л., 1979.
3. К.В. Листвин, С.С. Ковальчук, Л.В. Присяжний, С.А. Крижанівський, Автоматизована підготовка даних для моделювання напружено-деформованого стану конструкцій складної форми // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – С. 109.

4. М.П. Мазур, С.А. Крижанівський, Аналіз об'ємного напружено-деформованого стану конструкцій методом скінчених елементів // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2000. – № 2. – Ч.1. – С. 88.

КРИЖАНІВСЬКИЙ Сергій Андрійович – аспірант Технологічного університету Поділля, м. Хмельницький.

Наукові інтереси:

- методика розрахунку металорізальних інструментів.

МАЗУР Микола Петрович – завідувач кафедри “Технологія машинобудування” Технологічного університету Поділля, м. Хмельницький.

Наукові інтереси:

- методика розрахунку металорізальних інструментів;
- теорія різання.

СІЛІН Радомир Іванович – доктор технічних наук, професор, ректор Технологічного університету Поділля, м. Хмельницький.

Наукові інтереси:

- автоматизація виробничих процесів.

Подано 23.07.2001