

МОДЕЛЮВАННЯ СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Моделювання сили різання при кінцевому фрезеруванні складає основу для прогнозування стабільності процесу, виявлення похибок і аналізу формування поверхні деталі [1]. Особливе значення передбачення сили різання має при кінцевому фрезеруванні тонкостінних деталей, в обробній системі малої жорсткості, що широко використовуються в аерокосмічній та автомобільній промисловості [2]. Ясно, що без адекватної моделі сили різання при фрезерування таких деталей неможливо вирішити задачу оптимізації. Тому розроблення математичних моделей залежності сили різання від режиму різання і створення надійних методів моделювання є актуальною задачею загальної проблеми оптимізації кінцевого фрезерування.

Для моделювання сили різання при кінцевому фрезеруванні була створена прикладна програма в основу якої покладений механістичний підхід до розрахунку сили різання за визначенням геометричних параметрів недеформованої стружки кожним зубом на його довжині. Така модель створена за геометричними співвідношеннями схеми, де представлена розгортка лез фрези за осью координатою в графічному вікні прикладної програми (рис. 1).

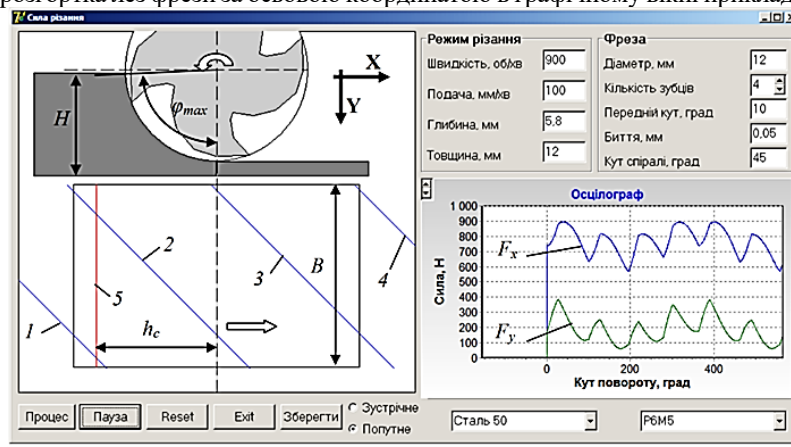


Рис. 1. Інтерфейс прикладної програми при моделюванні попутного фрезерування

На схемі показані положення різальних лез фрези, яка має чотири леза за шириною B різання – лінії 1, 2, 3 і 4. Леза вступають у взаємодію з заготовкою в діапазоні дуги різання. На розгортці така зона обмежується лінією 5 на відстані від початку різання $h_c = R_m \cos(\varphi_{max})$. При моделюванні виконується анімація і положення лез на розгортці змінюються при обертанні фрези за кутом.

У відповідності з розташуванням проєкцій різальних лез на схемі, взаємодіє з заготовкою лезо 1 і 2 на відстані від перетину з лінією 5 до ширини B . При цьому кут φ різання змінюється від φ_{max} до нуля. Ясно, що при зміні ширини, глибини різання чи кількості зубців фрези така картина буде змінюватись – більше різальних спіралей будуть приймати участь у різанні. Такий процес ураховується застосуванням розроблених математичних моделей та обчислювальних процедур.

Для визначення сили різання та її складових були розроблені формули, що передбачають інтегрування чисельним методом за двома напрямками – за лезом, що ріже і в ньому за довжиною лінії різання. Отже, окружна сила різання визначається як сума сил, які діють на лезах, що ріжуть, а за кожним лезом за елементарними відстанями δB , а її складові за осями координат визначаються з геометричних співвідношень розташування у вибраній системі координат (рис. 1). Для розрахунку сили різання і її складових використаний механістичний підхід, проте з використанням емпіричних залежностей, коефіцієнти і показник ступеня в яких визначався за довідниковими даними [3].

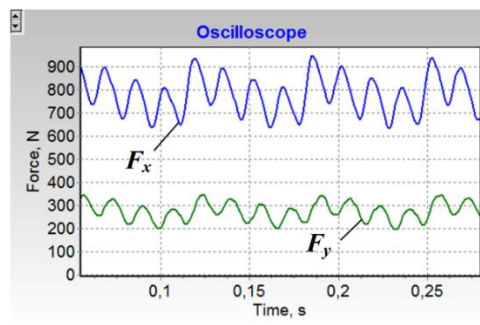
В результаті моделювання у вікні віртуального осцилографу поступово, з виконанням обчислень за зміною кута повороту фрези, з'являються графіки складових F_x і F_y сили різання у функції кута повороту. Можна спостерігати вплив биття фрези на характер зміни графіків та різницю у формі складових сили різання при зустрічному і попутному фрезеруванні.

Підтвердження отриманих результатів було отримане при натурному експерименті. Відповідні експерименти були виконані при фрезеруванні заготовки зі Сталі 50 кінцевою фрезою $\varnothing 12$ мм, матеріал Р6М5 з покриттям TiAlCrN, твердість HRC 65. Фреза має чотири спіральних леза з нахилом 45° . Заготовка була закріплена на столі трикомпонентного динамометра MCS 10-005-3С фірми HBM Germany (рис. 2, а). Сенсори трикомпонентного динамометра під'єднані до підсилювачів ClipX VM40 фірми HBM, що в свою чергу під'єднані до ПК з відповідним програмним забезпеченням для реєстрації сигналів. Експерименти проводились на верстаті XYZ VMC 1010 з системою ЧПК Siemens 810D.

Експерименти виконувались при попутному фрезеруванні заготовки на режимах різання в зоні середніх і високих швидкостей. Причому ширина і глибина фрезерування гарантували різання одночасно декількома лезами фрези для перевірки адекватності функціонування створеного алгоритму фрезерування на тих самих режимах. В результаті на ПК були записані цифрові файли, що відповідають складовим сили різання, які за допомогою спеціальної програми представлені у формі графіків (рис. 2, б).



а)



б)

Рис. 2. Верифікація результатів:
а) експериментальний стенд,
б) осцилограми

Аналіз отриманих результатів показує на досить добрий збіг експериментальних і теоретично прогнозованих складових сили різання на різних режимах, що в цілому підтверджує адекватність розробленої моделі. Середні величини складових сили різання за даними експериментів і моделювання повністю збігаються, що підтверджує вірний вибір емпіричних коефіцієнтів і показника ступеня в формулах сили різання.

Слід зауважити, що умови фрезерування при обробленні деталей авіаційної і автомобільної промисловості є квазістаціонарними в наслідок контурної обробки. Тому застосування запропонованих у відомих роботах [4] моделей не гарантує адекватний результат. Створений алгоритм і програмне забезпечення здатне моделювати такі процеси завдяки новому підходу, що ураховує можливість різання одночасно декількома лезами. Така особливість визначає практичну корисність дослідження і гарантує адекватність прогнозування сили різання при контурному кінцевому фрезеруванні, що важливо для оптимального призначення режиму різання на таких операціях.

Література:

1. Aydın M, Köklü U. Analysis of cutting forces from conventional to high-speed milling with straight and helical-flute tools for flat-end milling incorporating the effect of tool runout. (2021) <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-850919/v1>
2. Shrikrishna Nandkishor Joshi, Gururaj Bolar. Influence of End Mill Geometry on Milling Force and Surface Integrity While Machining Low Rigidity Parts J. Inst. Eng. India Ser. C (December 2021) 102(6):1503–1511 <https://doi.org/10.1007/s40032-020-00608-0>
3. Machining handbook - 2-part EN <https://www.hoffmann-group.com/GB/en/houk/know-how/machining-handbook/e/61245/>
4. Budak E. Analytical models for high performance milling. Part I: Cutting forces, structural deformations and tolerance integrity / International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 1478–1488 doi:10.1016/j.ijmachtools.2005.09.009