УДК 621.941.9.06-529

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор,
Охріменко О.А., докт. техн. наук, професор,
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
ypetrakov.86@gmail.com
Сапон С.П., канд. техн. наук, доцент,
Національний університет «Чернігівська політехніка» s.sapon@gmail.com,
Сікайло М.О., аспірант
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ АНТІ-ВІБРАЦІЙНОГО РЕЖИМУ РІЗАННЯ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Будь-який процес обробки різанням супроводжується вібраціями, які призводять до негативних наслідків на обробленій поверхні, збільшення шорсткості, хвилястості, деформації, передчасного зношування інструменту та вузлів верстата. Важливість дослідження вібрацій під час обробки пояснюються тим, що вони стають основним обмеженням продуктивності процесу.

Всі заходи щодо управління вібраціями та зменшення амплітуди коливань можна поділити на три напрямки. По-перше, це пасивні методи управління (PCC), які полягають у зміні динамічних властивостей вихідної динамічної структури за рахунок приєднання додаткових мас з пристроями, що демпфірують. До пасивних методів відносять також програмне управління частотою обертання шпинделя, наприклад, за гармонійним законом, що побічно підтверджує основну причину виникнення регенеративних коливань – «саморозкачування» системи при обробці слідом. При цьому зміна частоти обертання призводить до зміни частоти збурення, яка вже відрізнятиметься від частоти головної гармоніки динамічної системи обробки.

По-друге, це активні методи (ACC), що полягають у примусовому введенні в динамічну систему коливань із фазою, протилежною до регенеративних коливань, які потрібно погасити.

Всі такі методи потребують певних, іноді дуже затратних заходів щодо модернізації діючого обладнання. У той самий час дослідження причин виникнення коливань при різанні сприяли формуванню висновку, що зміна режиму різання впливає сталість процесу. Тому виникли методи управління режимом різання, що полягають у проектуванні так званої діаграми сталості (Stability Lobes Diagram – SLD), що визначає зони стабільності системи обробки.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що, незважаючи на велику кількість публікацій на тему дослідження, більшість із них присвячені управлінню процесами периферійного фрезерування через призначення режиму різання відповідно до діаграми стабільності. Проте відсутність надійного критерію сталості обробної системи ускладнює проектування діаграми стабільності, яка розраховується за допомогою багатокрокового алгоритму. Причому запропонований підхід ґрунтується на алгебраїчних критеріях, пов'язаних з коренями характеристичного рівняння, яке отримують з диференціального рівняння із запізненням і яке принципово не має аналітичного рішення. Користуються наближеними методами, які не можуть бути представлені у вигляді алгоритму, придатного для комп'ютерного використання.

Тому створення надійного алгоритму проєктування діаграми сталості при кінцевому фрезеруванні при представленні динамічної обробної системи у вигляді двомасової моделі інструмента і заготовки, що взаємодіють через процес різання є актуальною науково-технічною проблемою.

З урахуванням зворотного зв’язку процесу різання в пружній обробній системі, яка представлена двомасовою динамічною моделлю з двома ступенями свободи, обробкою за слідом і за двома керованими координатами модель усієї системи представляється у вигляді структурної схеми рис. 1.

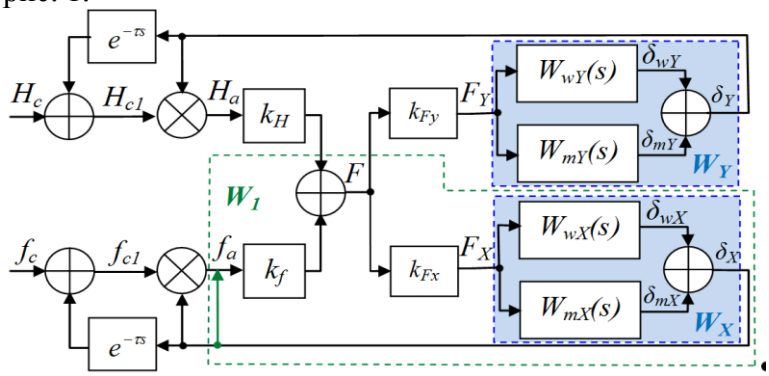
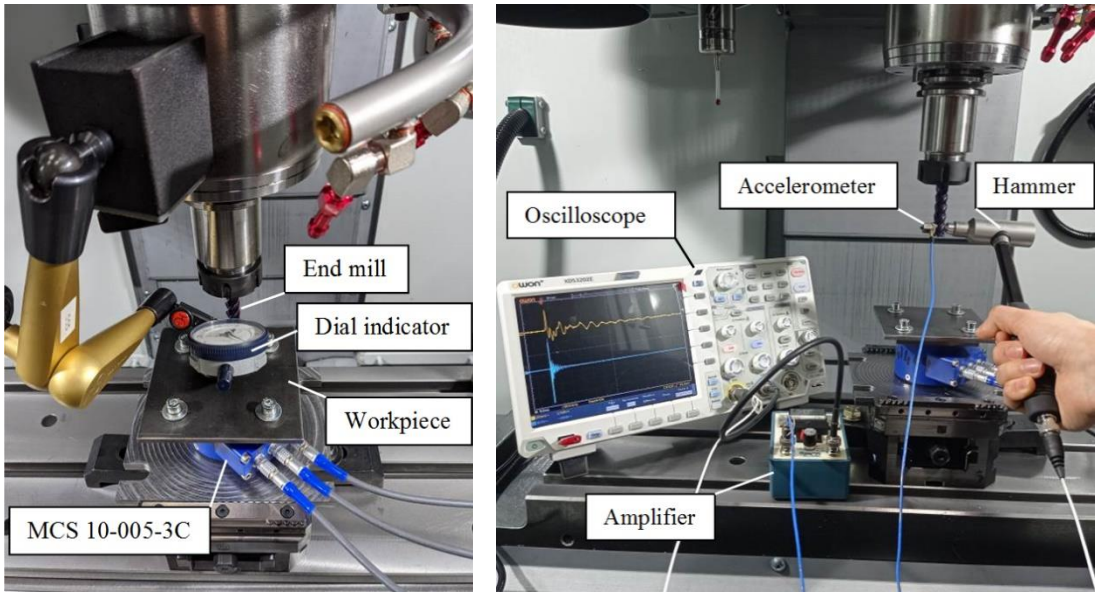


Рис. 1 – Структурна схема обробної системи

Зрозуміло, що моделювання вимагає попереднього визначення динамічних параметрів системи обробки. До таких параметрів відносяться частота власних коливань та жорсткість системи «інструмент» у двох напрямках по осях координат, частота власних коливань та жорсткість системи «заготовка» також у двох напрямках. Ці параметри повинні бути ідентифіковані в системі обробки, де буде проводитися експеримент (рис.2).



а) б)

Рис. 2 – Визначення динамічних параметрів обробної системи:
а) – визначення жорсткості; б) – визначення частотних характеристик

Відповідно до мети дослідження розроблена методика повинна передбачати автоматичне визначення діаграми сталості. Для вирішення такого завдання необхідно скористатися новим прийомом, який ґрунтується на аналізі частотних характеристик систем, що описуються диференціальними рівняннями із запізненням [1]. Рішення базується на новому критерії сталості таких систем із запізненням у позитивному зворотному зв'язку. Система буде сталою, якщо графік її діаграми Найквіста на комплексній площині не охоплює точку з координатами [+1,0].

Математична модель обробної системи має восьмий порядок, тому для цифрового моделювання створено спеціальну прикладну програму. Моделювання перехідних

характеристик виконується при інтегруванні стандартною процедурою Рунге-Кутта 4-го порядку. Проектування діаграми Найквіста системи, що описується диференціальними рівняннями із запізненням, також виконується стандартною процедурою, а проектування діаграми сталості – за спеціальним алгоритмом [1].

Діаграма сталості (рис.3) поділяє всю область можливих значень на дві зони: сталий та несталий процес різання. Важливість отриманих результатів призначення безвібраційного режиму різання очевидна: залежно від швидкості шпинделя при однаковій подачі (650 мм/хв) можна отримати як сталий так і несталий режим обробки. Відповідність новому критерію сталості обробних систем із запізненням у позитивному зворотному зв'язку підтверджується аналізом процесу виділених на діаграмі точках.

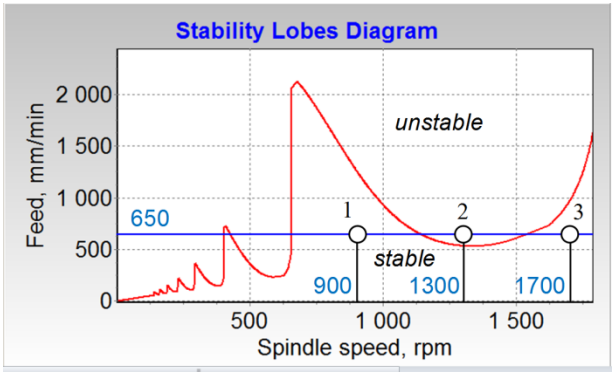
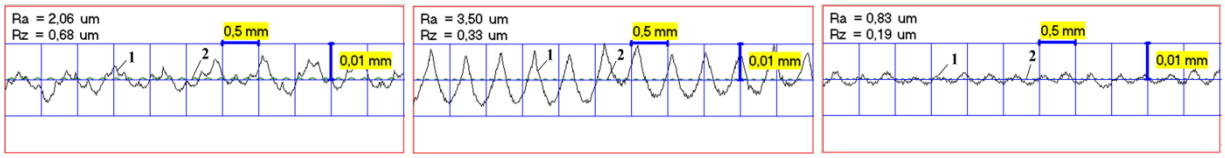


Рис. 3 – Діаграма сталості

В процесі експериментів виконувалося фрезерування заготовки у вигляді квадрата, закріпленої на столі динамометра (див. рис. 2). Динамометр встановлений на столі фрезерного верстата із ЧПУ фірми HAAS TM 0p. Таке розташування заготовки дозволяє проводити фрезерування всіх чотирьох сторін при зміні режимів різання без її зняття з верстата. Фрезерування виконувалося на режимах різання відповідно до точок діаграми сталості (рис. 3). Було оброблено 3 деталі з різними режимами різання на 12 поверхнях кожної деталі. На рис. 4 показані профілограми поверхонь, оброблених на режимах різання, відповідних точках 1, 2 і 3 на діаграмі сталості.



а) б) в)

Рис. 4 – Профілограми оброблених поверхонь: а) *f=650mm/min, n_s=900rpm; б) f=650mm/min, n_s=1300rpm; в) f=650mm/min, n_s=1700rpm;*

Висновок. Розроблений алгоритм проектування діаграми сталості вбудований у прикладну програму, яка є інструментом технолога-програміста при призначенні режиму різання. Запропоновано методику ідентифікації необхідних для проектування динамічних параметрів системи інструменту та системи заготовки. Запропоновано метод оцінки рівня вібрацій через аналіз шорсткості обробленої поверхні. Експериментально доведено ефективність запропонованої методики, коли вибір швидкості шпинделя при кінцевому фрезеруванні дозволяє зменшити параметр Ra з 3,17мкм до 0.64мкм при однаковій подачі 650мм/хв.

Список посилань

1. Petrakov, Y., Danylchenko, M. (2022). A time-frequency approach to ensuring stability of machining by turning. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (2 (120)), 85–92. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268637