

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сікайла Максима Олександровича

«Усунення вібрацій при кінцевому фрезеруванні на верстатах з ЧПК»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 – Механічна інженерія

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

1. Актуальність теми дисертації

Дослідження проблеми усталеності різання та розробка ефективних методів контролю вібрацій мають велике значення для промисловості, зокрема, для сфери машинобудування та авіаційної промисловості. Постійне зростання продуктивності процесів оброблення та підтримання стабільно високої якості оброблюваних виробів вимагає наукових підходів на шляху гарантованого зниження рівня вібрацій під час різання, що також може зменшити витрати на інструмент і ремонт обладнання. Саме вирішенню проблеми виникнення вібрацій при кінцевому фрезеруванні на верстатах з ЧПК присвячена представлена дисертаційна робота.

Одним із ключових завдань на цьому шляху є розробка ефективних методів контролю вібрацій. Запропонований у роботі спосіб визначення «безвібраційних» режимів різання, що може здійснюватися за допомогою діаграми сталості, є ефективним при фрезеруванні деталей кінцевими фрезами на верстатах з ЧПК. Застосування розробленої прикладної програми автоматичної побудови діаграми сталості та методики визначення динамічних параметрів технологічної обробної системи у серійному машинобудівному виробництві дозволить призначати «безвібраційні» режими різання у кожному випадку застосування кінцевого фрезерування для обробки деталей машин.

Отримані у роботі результати апробовані в натурних експериментах. Виконані у роботі дослідження сприятимуть покращенню процесів кінцевого фрезерування та є важливим кроком у розвитку технологій ЧПК та автоматизації виробництва на шляху розробки нових алгоритмів та методів ефективного контролю вібрацій в реальному часі.

Таким чином, усунення вібрацій в процесі кінцевого фрезерування на верстатах з ЧПК є актуальною науково-технічною задачею.

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено математичну модель 4-го порядку процесу фрезерування кінцевими фрезами, яка відтворює реальні процеси з урахуванням замкненості обробної системи, перехресних зв'язків за двома координатами і оброблення за слідом.

2. Створено новий метод контролю вібрацій та сталості різання при кінцевому фрезеруванні на верстатах з ЧПК.

3. Розроблено алгоритм і прикладну програму автоматичного проектування діаграми сталості в координатах складових режиму різання на підставі аналізу діаграми Найквіста розімкненої системи з позитивним зворотним зв'язком та функцією запізнення на комплексній площині.

4. Створено нову методику ідентифікації динамічних параметрів ТОС та силових характеристик при кінцевому фрезеруванні.

Теоретичною базою досліджень дисертаційної роботи є загальні положення технології машинобудування, теорії різальних інструментів, теорії різання, теорії автоматичного керування, теорії коливальних та динаміки верстатів. В роботі застосовані сучасні методики математичного моделювання, використано засоби математичного та комп'ютерного моделювання. Експериментальні дослідження проводилися з використанням сучасної вимірювальної апаратури.

Наукові положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі, достатньо обґрунтовані з наукової та технічної точок зору та підтверджені результатами експериментальних досліджень, що дає можливість вважати їх достовірними.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сікайла М.О. відповідає вимогам проекту Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 – Прикладна механіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна механіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і підтверджує особистий внесок здобувача у науковий інноваційний напрям «Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сікайла Максима Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана державною мовою. Викладення матеріалу логічне і відповідає стилю наукових досліджень в плані застосування термінів і понять, що характерні для технічної лексики. Всі терміни і скорочення мають відповідні пояснення.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок (з додатками).

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми дослідження, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульована мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення

одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** описано процес фрезерування кінцевими фрезами, наведені причини поширеного застосування даного методу лезового оброблення. Наведена системна класифікація вібрацій які виникають в технологічній оброблюваній системі, причини їх виникнення і негативні наслідки, які вони спричиняють. Сформульована актуальність дослідження питання усунення вібрацій при кінцевому фрезерування на верстатах з ЧПК. Проведено огляд та аналіз методів усунення вібрацій при лезовому обробленні. Розглянуто існуючі методи побудови діаграми сталості, побудова якої дозволяє вибрати безвібраційні режими різання, їх недоліки та переваги. Встановлено, що основним чинником виникнення вібрацій є оброблення «за слідом». Виходячи з результатів проведеного аналізу сформульована мета і задачі досліджень.

У **другому розділі** наведено детальний опис математичної моделі. Розроблена математична модель представляє собою динамічну обробну систему як одномасову з двома степенями свободи, що охоплена негативними зворотними зв'язками за напрямом двох координат. Оброблення за слідом представлене у вигляді позитивних зворотних зв'язків з функцією запізнення в кожному. Математична модель представлена у формі змінних стану, що дозволяє застосувати чисельні методи моделювання для визначення як перехідних, так і частотних характеристик. Представлені розрахункові схеми та структурні схеми.

Третій розділ присвячено розгляду створеної прикладної програми, яка моделює процес фрезерування кінцевими фрезами у часовому та частотному просторі. Програма забезпечує автоматичну побудову пелюсткової діаграми сталості з врахуванням частоти власних коливань системи кінцевої фрези по кожній осі, коефіцієнту затухання коливань, жорсткості по осям, ширини різання, діаметру фрези та кількості зубів, та механічні характеристики матеріалу заготовки. Описано «новий» критерій сталості для процесу фрезерування кінцевими фрезами, та створений алгоритм автоматичної побудови діаграми сталості. Дієвість «нового» критерію сталості підтверджена за допомогою моделювання процесу фрезерування для різних варіацій обробної системи у часовому та частотному просторі.

У **четвертому розділі** виконано огляд апаратних засобів які використовуються для визначення окремих динамічних характеристик обробної системи: жорсткості та частотної характеристики. Представлена створена вимірювальна система для фіксації силових характеристик, описані основні параметри та схеми підключення. Запропоновані та апробовані на практиці схеми наладки для вимірювання жорсткості та знаходження частоти власних коливань обробної системи, дозволяють визначати динамічні параметри конкретної обробної системи на підприємстві, та за допомогою розробленої в дисертації програми автоматично будувати діаграму сталості саме для встановленого варіанту оброблення. Експериментальним методом знайдені

динамічні параметри вертикально-фрезерного верстату мод. 6M13, обробляючого центру з ЧПУ XYZ VMC 1010.

П'ятий розділ роботи присвячено побудові діаграми сталості для обробного центру з ЧПУ XYZ VMC 1010. Вибрані режими різання та інструмент для проведення експерименту з фрезерування на верстаті. Адекватність отриманих результатів підтверджена як комп'ютерним моделюванням, так і натурним експериментом фрезерування при режимах різання, які відповідають областям сталості та несталості на графіку діаграми сталості. Оцінка рівня вібрацій в системі виконувалась за профілографами шорсткості оброблених поверхонь на різних режимах різання.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до квартилю Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 7 тез виступів на наукових конференціях; 2 статті, що додатково відображають результати дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових конференціях.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Нерівномірно викладено матеріал роботи: перший розділ дещо перевантажений докладним розглядом існуючих методів усунення вібрацій, що загалом не впливає на постановку мети та визначення задач дослідження. Другий розділ навпаки, становить менше 9% основної частини роботи і не містить опрацьованої послідовності вибору складових представленої моделі, переходу від математичної моделі (2.11) до її структурної схеми (рис. 2.2), визначення параметрів поперечних та зворотніх зв'язків.

2. Для сформульованого у роботі критерію усталеності названого «новим критерієм Найквіста» доцільно було ввести власну назву, окресливши його відмінність від класичного критерію усталеності системи та обґрунтувати достовірність його застосування для випадку кінцевого фрезерування.

3. Роботу підсилило б врахування у математичній моделі кінцевого фрезерування динамічної характеристики процесу різання, а не тільки її статичної складової.

4. Наявне формулювання наукової новизни роботи без встановлення її рівнів: «вперше», «удосконалено», «дістало подальший розвиток», що погіршує оцінку досягнень автора.

5. У моделі кінцевого фрезерування не враховується форма траєкторії фрези, тому застосування у назві третього розділу словосполучення «контурне фрезерування» недоцільне.

6. У роботі не наведено технічних характеристик застосованого для експериментальних досліджень тензометричного датчика фірми НВМ (Germany) MCS 10-005-3С.

6. У різних частинах роботи близькі за змістом поняття названі «стійкістю», «сталістю» та «стабільністю».

7. У підписах до рис. 3.5 (і далі) доцільно було б вказувати замість швидкості шпинделя (об/хв.) – частоту обертання шпинделя (об/хв.).

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сікайла Максима Олександровича на тему «Усунення вібрацій при кінцевому фрезеруванні на верстатах з ЧПК» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 – Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 - 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Сікайло Максим Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

Заступник завідуючого кафедри
механічної інженерії Державного університету
«Житомирська політехніка»,
МОН України, кандидат технічних наук,



Ярослав СТЕПЧИН



« 29 » травня 2024 року

Вірість підпису засвідчую
Начальник загального відділу

