

Донбаська державна машинобудівна
академія
Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 12.105.02
С. Л. Міранцову
вул. Академічна, 72
м. Краматорськ, 84313

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Донченко Євгенія Івановича

**«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ
РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ДІАГНОСТИКИ ФРЕЗ»**,

представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Підвищення продуктивності виробництва продукції є однією із основних задач, які намагаються вирішувати виробники, інтенсифікуючи режими різання. Однак, інтенсифікація режимів різання суттєво впливає на точність продукції, що виготовляється. Тому актуальним є питання визначити залежність цієї величини від комплексу параметрів.

При фрезеруванні на металообробних верстатах інтенсифікація процесу також супроводжується втратою динамічної стабільності технологічної системи й загальним зниженням надійності різального інструменту. Це пов'язано з виникненням автоколивань великої амплітуди, що обмежують продуктивність, різко знижують стійкість інструмента, термін служби обладнання, точність і якість оброблених поверхонь, а також призводять до аварійних ситуацій внаслідок руйнації елементів технологічної системи

Виходячи з цього, питання створення та дослідження автоматизованої системи діагностики попереднього торцевого фрезерування з використанням малозубих фрез є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого дозволить підвищити надійність торцевих фрез, продуктивність фрезерування та зменшити потребу в інструментальному матеріалі.

2. СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ ТА ДОСТОВІРНОСТІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ, СФОРМУЛЬОВАНИХ В ДИСЕРТАЦІЇ

Отримані теоретичні результати знайшли підтвердження експериментальними дослідженнями у лабораторних умовах з використанням сучасної виміральної апаратури і обладнання, обробкою результатів експериментальних даних з використанням математичної статистики. Достовірність отриманих у дисертаційній роботі Донченко Є.І. результатів

підтверджуються досить близьким збігом розрахункових і експериментальних даних.

Наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі достатньо обґрунтовані:

- застосуванням сучасних методів досліджень, в тому числі математико-статистичних;
- використанням фізичного та математичного моделювання на ПЕОМ з використанням сучасних програмних продуктів;
- використанням наукових положень, отриманих вченими в даній галузі.

Достовірність одержаних результатів в лабораторних та виробничих умовах, не викликають сумніву. Наукові результати здобувача і практичні рекомендації успішно впроваджені у виробництво.

3. НАУКОВА НОВИЗНА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Виходячи із змісту дисертаційної роботи, нові наукові положення сформульовані наступним чином:

- 1 Розроблено комплексну систему оцінок якості процесу торцевого фрезерування як сукупність вібраційних сигналів, представлених у тривимірній системі координат з прив'язкою до кута повертання фрези.
- 2 Розроблено математичну модель системи розпізнання образів на базі експериментальних даних з можливістю прогнозування стану різального інструменту при попередньому торцевому фрезеруванні.
- 3 Удосконалено математичну модель процесу фрезерування для визначення зв'язку між амплітудно-частотними характеристиками вібрацій при торцевому фрезеруванні та станом різальних пластин, що дозволило уточнити вплив руйнування різальної пластини на рівень амплітуд вібрацій при попередньому фрезеруванні.
- 4 Розроблено математичні моделі для визначення імовірність безвідмовної роботи торцевої фрези з довільною кількістю пластин з метою прогнозування рівня надійності фрези при відмові кожного її зуба та визначення стратегії її заміни.

4. ЗНАЧИМІСТЬ ДЛЯ НАУКИ І ПРАКТИКИ ОТРИМАНИХ У ДИСЕРТАЦІЙНІЙ РОБОТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дисертаційна робота виконана у відповідності з науковою тематикою кафедри автоматизації виробничих процесів Донбаської державної машинобудівної академії. Результати роботи виконувались в рамках багатьох держбюджетних науково-дослідних робіт, що стосувались автоматизованого виробництва продукції важкого машинобудування та металургії.

Практична цінність результатів полягає у розробці інженерної методики діагностики процесу попереднього торцевого фрезерування, яка дозволяє в режимі реального часу оцінити стан різального інструменту в процесі обробки

за критерієм відмови інструмента та системи діагностики попереднього торцевого фрезерування, що дозволяє визначати відмову інструмента, на основі моделювання амплітудно-частотних параметрів вібрацій.

Результати роботи впроваджені на виробництві та в навчальний процес при підготовці фахівців машинобудівного профілю Донбаської державної машинобудівної академії.

Основні питання дисертаційної роботи були представлені, обговорені та одержали схвалення на ряді всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях.

5. ПОВНОТА ВИКЛАДУ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Результати дисертації достатньо повно викладені у 18 наукових працях, серед яких 9 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у виданні, включеному до міжнародних наукометричних баз даних.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації і достатньо повно відображає основні положення дослідження.

6. ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Практична цінність роботи полягає у розробці інженерної методики діагностики процесу попереднього торцевого фрезерування, та системи діагностики попереднього торцевого фрезерування, що дозволяє визначати відмову інструмента, на основі моделювання амплітудно-частотних параметрів вібрацій. Також розроблена методика визначення періоду регламентованої заміни фрези для забезпечення раціонального рівня її надійності.

Результати роботи, зокрема програмно-апаратний комплекс діагностики різального інструменту, впроваджено на Дружківському машинобудівному заводі та ТОВ «Промислово-торгівельна компанія Інтріс трейд».

7. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ЇЇ ЗАВЕРШЕНІСТЬ В ЦІЛОМУ

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків.

У вступі надано загальну характеристику дисертаційної роботи: обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету роботи та задачі дослідження; наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію матеріалів дисертації і публікації, що відображають її зміст.

У першому розділі дисертації виконано аналіз стану й обґрунтування актуальності розглянутої проблеми, проаналізовані роботи відомих дослідників. Аналіз результатів досліджень дозволив Донченко Є.І. сформулювати завдання дослідження, які реалізовано в наступних розділах роботи.

У другому розділі виконано експериментальний аналіз методики дослідження процесу фрезерування.

Шляхом аналізу систем вимірювання динамічних характеристик процесу торцевого фрезерування, виявлена структура комплексної системи оцінок якості процесу торцевого фрезерування як сукупність вібраційних сигналів, представлених у тривимірній системі координат у прив'язці до кута повертання фрези.

Приведено розроблену вібровимірювальну установку у складі трьох датчиків віброприскорення та датчика кута обертання шпинделю фрези. Установка прийнята у якості аналога вимірювальної частини комплексної системи оцінок якості процесу торцевого фрезерування. За допомогою установки було виконано низку експериментальних досліджень на фрезерних верстатах

Для покращення якості вимірювання динамічних характеристик процесу фрезерування використані оптичні датчики. По результатам експериментальних досліджень за допомогою оптичних датчиків мікропереміщень були визначені амплітудно-частотні характеристики процесу торцевого фрезерування при різних режимах обробки та стану інструменту, що в подальшому стало основою для налаштування параметрів математичної моделі процесу торцевого фрезерування.

Аналіз експериментальних даних при зміні кількості зубів, який виникає, наприклад, в наслідок руйнування, показав значний вплив явища руйнування на характер розподілу амплітуд гармонік, що було визнано важливим критерієм для оцінки стану зубів фрези в процесі різання.

Для узагальнення отриманих експериментальних даних пропонується математична модель розпізнавання на основі інтерполяції наявних даних. Для пошуку невідомого параметра розроблено математичний апарат по використанню метода усереднення та лінійного методу.

У третьому розділі приведено узагальнену математичну модель із розширеним діапазоном припустимих режимів фрезерування, що враховує динамічні характеристики усіх основних складових верстата, у тому числі привода головного руху та привода подач.

Особливістю моделі є облік явища «різання по сліду», яке описується сукупністю траєкторій руху зубів фрези щодо оброблюваної деталі. Таким чином, у кожний наступний момент часу виконується розрахунок перетину матеріалу, що видаляється, і, як наслідок, сил, що впливають на кожен зуб при різанні.

Розробка динамічної моделі несучої системи фрезерного верстата була виконана на основі спрощеного уявлення столу та фрезерної бабки як пружної одномасової системи. Завдяки такому уявленню стало можливим виконати налаштування параметрів моделі несучої системи, спираючись на дані експериментальних досліджень.

Для визначення силових навантажень на зуби фрези була розроблена математична модель силової частини процесу торцевого фрезерування, при цьому для визначенням сили різання були застосовані різні підходи.

Адекватність побудованої моделі перевірена імітаційним моделюванням процесу торцевого фрезерування з параметрами обробки, як при експериментальних дослідженнях.

Для перевірки впливу явища регенерації було проведено моделювання при змінній частоті обертання фрези та різній кількості пластин, що відповідає їх виходу з ладу. Встановлено, що амплітуда коливань у технологічній системі значно змінюється навіть при поломці одного зуба (що обумовлено обмеженою кількістю зубів при попередньому фрезеруванні). При цьому можна відмітити появу зон швидкостей обертання, на яких амплітуда коливань змінюється майже на порядок.

У четвертому розділі розроблена та реалізована система візуального моніторингу стану різальних пластин фрези на базі низки мікроконтролерів.

За допомогою світлодіодних індикаторів на екрані монітора стан пластини визначається різними кольорами. При руйнуванні пластини мигає відповідний червоний світлодіод, а при аварійному режимі роботи система подає звуковий сигнал.

Розроблено та реалізовано модуль оптичного датчика, якій дозволяє виконувати неінвазійні вимірювання коливань для системи візуального моніторингу та контролювати кут обертання фрези.

Програмне забезпечення системи контролю створене за допомогою спеціально розробленого програмного комплексу із застосуванням концепції автоматного програмування, у рамках якої програма керування реалізується як система формальних автоматів, описаних методом графів. Стани програми локалізуються усередині вершин, а переходи між станами перебувають на орієнтованих ребрах. Завдяки використанню методу графів, пропонується проектувати програму керування у графічному виді за допомогою графічного середовища Microsoft Visio. Це значно полегшує як саму розробку, так і подальшу модернізацію програми. Немаловажним є те, що розроблена за допомогою методу графів програма є у значній мірі самодокументована, що зменшує зусилля розробника при подальшому написанні технічної документації на програмний код та підвищує надійність розроблюваної системи діагностики або керування верстатом.

Можливості мікроконтролера STM32F437, застосованого у моніторі системи діагностики, дозволили застосувати нейронну мережу на базі пакета X-CUBE-AI, що розширює функціональні можливості середовища STM32Cube, яке європейська фірма STMicroelectronics вільно надає усім користувачам своїх мікроконтролерів.

Для реалізації навчання моделі нейронної мережі було використано Keras - відкриту нейромережеву бібліотеку, написану мовою Python. Результати підстановки зображень тестового набору з першого й другого набору сигналів у модель нейронної мережі дали показники ідентифікації 93 % і 85 % відповідно для даних навчання та тестових даних.

У п'ятому розділі виконано дослідження зносостійкості й надійності збірних фрез. Були проведені виробничі й лабораторні випробування торцевих

фрез, оснащених різними твердими сплавами в умовах промислового виробництва.

В дослідженні було поширено можливості розрахунку надійності торцевих фрез при роботі з довільним числом ріжучих пластин. Виведено формули розрахунку імовірності та часу безвідмовної роботи торцевої фрези з довільною кількістю зубів. Розроблена методика визначення стратегії заміни інструменту для забезпечення заданого рівня його надійності. Визначена стратегія регламентованої заміни фрези для забезпечення раціонального рівня надійності, наприклад для фрези $Z=4$, заміна виконується при відмові двох зубів. Рекомендовані міри по підвищенню надійності торцевих фрез при попередньому фрезеруванні.

8. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ДИСЕРТАЦІЇ ТА АВТОРЕФЕРАТУ

1. У дисертаційній роботі недостатньо обґрунтовано вибір показників ефективності попереднього фрезерування.

2. У дослідженні впливу стану різального інструменту на динамічні характеристики фрезерування не зрозуміло, як впливає модель верстата на цю залежність.

3. Дослідження динамічних характеристик могли б дати змогу розробити рекомендації із вибору граничних значень глибини фрезерування і швидкості подачі для різних моделей верстатів за умови їхньої вібростійкості.

4. В дослідженні динамічної моделі процесу фрезерування необхідно було б дослідити можливість керування швидкістю обертання шпинделя для зниження вібрацій системи верстата.

5. У п'ятому розділі дисертації наведено результати дослідження зносостійкості і надійності торцевих фрез. Але недостатньо обґрунтовано вибір інструментального й оброблюваного матеріалу для досліджень.

6. Загальні висновки не містять достатньо кількісних характеристик результатів роботи.

7. По тексту дисертації мають місце деякі неточності редакційного характеру.

9. ЗАКЛЮЧНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наведені зауваження не впливають на головні теоретичні та практичні результати досліджень та не змінюють загальної позитивної оцінки роботи. В цілому в дисертаційній роботі Донченко Є.І. отримані нові науково обґрунтовані результати у галузі машинобудування, а саме підвищення ефективності і надійності торцевого фрезерування за рахунок створенню комплексної системи оцінок якості процесу торцевого фрезерування та побудові на її основі автоматизованої системи діагностики фрез. Робота має перспективу подальшого розвитку у цьому напрямку.

Виконана дисертаційна робота вирішує важливу науково-технічну задачу, повністю відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових

ступенів» до кандидатських дисертацій, має наукову новизну та практичну цінність, впровадження у виробництво та навчальний процес. Дисертація на тему «Підвищення ефективності фрезерування на основі розробки та дослідження автоматизованої системи діагностики фрез» заслуговує на позитивну оцінку, а її автор, Донченко Євгеній Іванович, на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти».

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри конструювання машин,
Механіко-машинобудівний інститут,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Оксана ЮРЧИШИН

Підпис офіційного опонента
засвідчую

Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського
к.т.н., доц.



Валерія ХОЛЯВКО