

ВІДГУК

офіційного опонента Хавіна Геннадія Львовича
на дисертаційну роботу Данильченко Марії Андріївни
**«Забезпечення динамічної якості технологічної обробної
системи при точінні»,**

яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

1. Актуальність теми

Актуальність роботи пов'язана із завданням максимального використання можливостей токарних верстатів з ЧПК, оснащених приводами з безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя, для ефективного гасіння регенеративних коливань при токарному обробленні. Наявність безступінчастого регулювання дозволяє застосувати для гасіння регенеративних коливань режим оброблення із змінною частотою обертання шпинделя, що програмується опцією «Spindle Speed Variation» (SSV). Але ефективне використання цієї опції потребує знання залежності зміни рівня відносних коливань інструмента і заготовки в робочому діапазоні частот обертання шпинделя від режимів різання. Отримується така залежність методами моделювання та аналізу взаємодії технологічної обробної системи (ТОС) з процесом різання, що й визначає необхідність підвищення адекватності опису їх взаємодії динамічними моделями, які використовуються для прогнозування і вибору раціональних умов виконання процесу різання.

Актуальність теми роботи підтверджується й тим, що вона пов'язана з виконанням держбюджетної НДР «Інноваційні технології та верстатно-інструментальне оснащення високопродуктивної обробки різанням сучасних конструкційних матеріалів» (державний реєстраційний номер 0117U000492), що виконувалась на кафедрі технології машинобудування Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського протягом 2017-2019 рр.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Данильченко М.А. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, зваженій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, критичному аналізі отриманих результатів і змістовному формулюванні отриманих висновків.

Теоретичні дослідження ґрунтуються на використанні основних положень технології машинобудування, теорії автоматичного управління, теорії коливань, динаміки верстатів, чисельних методів моделювання та спектрального аналізу при розробці динамічної моделі взаємодії ТОС з процесом різання при токарному обробленні. Дослідженні процесів виникнення і розвитку регенеративних коливань, а також технологічних методів і режимів їх гасіння. Експериментальні роботи виконано в лабораторних умовах з використанням сучасних засобів вимірювання та обробки інформації. Отримані результати перевірені шляхом співставлення результатів теоретичного і експериментального дослідження параметрів регенеративних коливань і мікрогеометрії обробленої поверхні.

В сукупності це підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

3. Достовірність результатів досліджень

Достовірність одержаних результатів підтверджена обґрунтуванням припущень та відповідності результатів обчислень експериментальним даним, відсутності логічних протиріч і відповідності фізичній сутності досліджуваних процесів.

Використані в дисертації основні теоретичні положення та припущення є коректними і узгоджуються із загальноприйнятими в теорії управління процесами різання. Обґрунтованість наукових результатів забезпечується

коректністю поставлених мети та завдань досліджень, точністю використаних засобів вимірювання та підтвердженою адекватністю розроблених математичних моделей.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю припущень, застосуванням стандартних процедур створення динамічних моделей пружних систем ТОС і чисельного моделювання. Створена математична модель прогнозування вібраційної стійкості при токарному обробленні об'єднує часткові моделі сили різання, пружної замкнутої динамічної системи і геометричної взаємодії інструменту із заготовкою в єдину систему з двома входами (по глибині різання і поздовжній подачі) на оберт заготовки і відповідними виходами, що формують геометричні параметри зрізаного шару припуску. Це повністю враховує фізичний зв'язок між динамічними характеристиками пружної системи ТОС, режимами оброблення і відносним рухом інструменту і заготовки. Наукові результати передані для впровадження в ПрАТ «Виробничо-комерційна фірма «АС» (м. Київ) і успішно апробовані на обладнанні представника НААС в Україні – ДП «Абпланалп Україна» (м. Київ).

4. До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

– вперше розроблено структурну схему процесу різання з двома входами по ортогональних осях: глибині різання і поздовжньої подачі, і відповідними виходами – деформаціями за цими напрямками, що формують геометричні параметри зрізаного шару припуску і дозволяють шляхом моделювання відносного руху різця чисельними методами в часовому і частотному просторі отримувати характеристики регенеративних коливань як у вигляді осцилограм, так і амплітудно-фазово частотних (діаграм Найквіста) характеристик для оцінки сталості ТОС;

– вперше теоретично доведено і експериментально підтверджено ефективність застосування розробленої технології прогнозування вібраційної

сталості при токарному обробленні, що ґрунтується на застосуванні пружно-деформаційної моделі зміни зрізаного припуску за глибиною різання і подачею для опису відносного руху різця і використанні експериментально отриманих динамічних характеристик ТОС для формування вхідних даних пружної механічної системи моделі процесу різання;

– вперше теоретично доведено і експериментально підтверджено, що перша власна частота пружної ТОС визначається масо-інерційними і пружними характеристиками підсистеми шпинделя і незначно змінюється при зміні заготовки і місця контактної взаємодії з різцем (виставу різця), що підтверджує адекватність математичного опису процесу точіння з представленням пружної ТОС у вигляді одномасової системи із експериментально визначеними значеннями її зведеної маси, жорсткості і демпфірування;

– вперше для практичної реалізації методу SSV при токарному обробленні запропоновано визначати період зміни частоти обертання шпинделя моделюванням за критерієм мінімуму часу загасання коливань до встановленої величини амплітуди за всіма трьома осями координат за один оберт заготовки за результатами моделювання процесу точіння в 3D просторі.

5. Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Розроблена здобувачем пружно-деформаційна модель зміни зрізаного припуску, що об'єднує в єдину систему окремі моделі сили різання, пружної замкненої динамічної системи і геометричної взаємодії інструменту із заготовкою. Це пов'язує параметри режиму різання (глибину h_s і ширину f_s різання) з утвореними пружними деформаціями δh та δf у відповідних напрямках із зміною площі зрізаного шару припуску, що повністю відповідає фізичному процесу формоутворення різанням. Зазначений зв'язок є внутрішнім структурним зв'язком динамічної моделі виникнення регенеративних коливань

при токарному обробленні, що значно підвищує її адекватність і практичну придатність до вирішення задач вибору параметрів опції SSV при токарному обробленні.

6. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 16 наукових працях, у тому числі 5 публікаціях у наукових фахових виданнях України. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

7. Оцінка змісту дисертаційної роботи:

Дисертація Данильченко М.А. відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування, затвердженим постановою президії ВАК України від 14.06.2007 за № 47-08/6, оскільки спрямована на дослідження та вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталей машин, що передбачено формулою спеціальності, та відповідає напрямам дослідження – «Технологічні основи формування точності й якості поверхонь деталей машин» та «Методи механічної обробки, їх стабільність і надійність».

Дисертація представляє собою завершену наукову роботу, яка має внутрішню єдність, сукупність наукових теоретичних положень і практичних результатів, що свідчить про індивідуальний внесок здобувача в науку і практику.

Дисертаційна робота Данильченко М.А. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, відображено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відомості про апробацію, публікації, структуру і обсяг дисертації.

В першому розділі виконано аналіз існуючого стану моделювання, прогнозування і гасіння регенеративних коливань при обробленні на металорізальних верстатах.

Проведено аналіз причин виникнення вібрацій при різанні, насамперед обробки «за слідом», що супроводжується виникненням регенеративних коливань з утворенням «брижі» на оброблюваній поверхні. Розглянуто підходи до вивчення регенеративного ефекту, моделювання і аналізу стійкості процесу різання в пружній ТОС, вивчення ролі демпфірування, як механізму зниження ймовірності виникнення вібрацій, розроблення технологічних методів і засобів усунення регенеративних коливань.

За результатами аналізу сформульовано умови створення адекватної динамічної моделі взаємодії ТОС з процесом різання, та практичного забезпечення гасіння регенеративних коливань.

Відповідно до цього було сформульовано мету роботи і визначено задачі дослідження.

В другому розділі розроблені динамічні моделі регенеративних коливань (в часовому діапазоні) та прогнозування стійкості (в частотному діапазоні) ТОС як одномасової системи, та складної механічної коливальної системи шпindel-заготовка-супорт з урахуванням контактної взаємодії заготовки з інструментом і описом складових елементів цієї системи розподіленими моделями.

Перша модель описує замкнену динамічну систему з двома входами за глибиною h та подачею f , відповідно, двома виходами – деформаціями δh та δf за цими напрямками та використовується для моделювання процесу точіння в просторовому та частотному діапазонах. Друга модель – для дослідження закономірностей формування і особливостей зміни динамічних характеристик ТОС в процесі точіння.

Третій розділ присвячено експериментальному підтвердженню адекватності розроблених динамічних моделей регенеративних коливань та прогнозування стійкості ТОС при токарному обробленні.

Перевірка адекватності розробленої моделі процесу точіння виконувалась порівнянням обчислених частотних характеристик ТОС токарно-гвинторізного верстата мод. 1К62 з результатами частотного аналізу профілограм реально обробленої поверхні деталі, а також теоретично встановленими і експериментально перевіреними на токарно-гвинторізному верстаті підвищеної точності мод. 16Б05П закономірностями формування і зміни динамічних характеристик ТОС з урахуванням контактної взаємодії інструмента і заготовки.

Проведені дослідження сукупно підтвердили адекватність математичного опису процесу точіння з представленням пружної ТОС у вигляді одномасової системи із експериментально визначеними значеннями її жорсткості і демпфірування.

В четвертому розділі розроблена математична модель та прикладна програма для моделювання виникнення регенеративних коливань при точінні у 3D просторі. Програма призначена для цілеспрямованого пошуку раціональних параметрів гармонічного закону зміни частоти обертання шпинделя (опція SSV) при програмуванні на токарному верстаті з числовим програмним управлінням. Програму і дієвість розробленої технології гасіння регенеративних коливань апробовано на верстаті верстата ST-30 фірми HAAS (USA). Використання опції SSV верстата дозволило зменшити шорсткість обробленої поверхні з Ra 6,3 до Ra 2,5.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 120 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Бажано було б пояснити, чому контактна силова взаємодія інструмента

із заготовкою в розподіленій багатотільній моделі враховується у вигляді додаткової пружної опори, а в зосередженій одномасовій моделі – ні.

2. Як пояснюються те, що результати експериментального визначення жорсткостей ТОС у різних перетинах (розділ 3.1.1), з одного боку свідчать про попереднє деформування пружної ТОС в поперечному напрямку, а з іншого – про наявність залишкового зазору у осьовому напрямку?

3. Потребує пояснення за якими критеріями здійснювалось групування частот власних коливань ТОС в табл.3.6. зведених результатів визначення статичних і динамічних характеристик ТОС.

4. Потребує пояснення значна відмінність в різних перетинах форми поверхні обробленої деталі (рис. 3.7).

5. Не було потреби для аналітичного визначення частот власних коливань токарного верстата (розділ 3.2.1) і визначення частотних характеристик ТОС токарного верстата при поздовжньому точінні (розділ 3.2.2) описувати дві динамічні моделі, оскільки перша модель є частковим випадком другої.

6. В дисертації відсутні матеріали рекомендацій, оформлені у вигляді нормативного документу.

7. Бажано було б зробити загальний перелік позначень, а то в різних розділах одні і ті ж параметри мають різні позначення, наприклад, в 2-му і 3-му розділах коефіцієнти жорсткості позначаються через k , а в 4-му – через C .

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

8. Висновок про відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Данильченко Марії Андріївни «Забезпечення динамічної якості технологічної обробної системи при точінні» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-прикладну задачу – підвищення якості токарного оброблення шляхом удосконалення технології прогнозування і гасіння

регенеративних коливань за рахунок підвищення адекватності опису (на прикладі токарної обробки) взаємодії ТОС з процесом різання динамічними моделями, спрямованими на прогнозування і вибір найкращих умов виконання процесу різання. Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п.п. 9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор – здобувач Данильченко Марія Андріївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент

професор кафедри технології
машинобудування та металорізальних верстатів
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор

29.04.2021 р.

Геннадій ХАВІН
Підпис
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНОЇ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Заковоротний О.Ю.
20 21 р.

