

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Данильченко Марія Андріївна

УДК 621.91.01

(індекс)

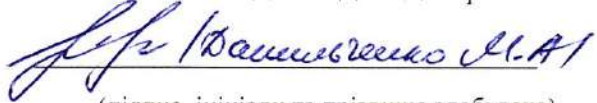
ДИСЕРТАЦІЯ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
ОБРОБНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ТОЧІННІ

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


Ідентична копія за змістом
зі списком притоки
дисертації засвідчує
Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради Д.05.02.08-12
19.02.2021 Н.Зубівська Зубкова Н.В.


(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Петраков Юрій Володимирович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Данильченко М. А. Забезпечення динамічної якості технологічної обробної системи при точінні. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – Технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

В дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача підвищення якості токарного оброблення шляхом удосконалення технології прогнозування і гасіння регенеративних коливань. Ця технологія базується на використанні результатів моделювання динамічної взаємодії ТОС з процесом різання з урахуванням обробки за слідом.

На відміну від попередніх досліджень методів і засобів гасіння регенеративних коливань, для опису взаємодії пружної ТОС з процесом різання запропоновано застосувати модель відносних коливань інструмента в 3D просторі. В моделі враховано вплив природних зворотних зв'язків між пружною ТОС і процесом різання на зміну глибини, подачі і швидкості різання. Вперше вплив оброблення за слідом введено в модель за двома напрямками - глибиною різання і подачею, що дозволило отримати характеристики просторового руху інструмента відносно заготовки як функцію зміни припуску, безпосередньо пов'язану із керованими параметрами режимів різання.

Для вибору форми представлення пружної ТОС, було проведене теоретичне і експериментальне дослідження впливу контактної взаємодії заготовки з інструментом при точінні на формування динамічних характеристик пружної ТОС із використанням динамічної моделі токарного верстата як складної механічної коливальної системи шпиндель-заготовка-супорт з урахуванням контактної взаємодії заготовки з інструментом і описом складових елементів розподіленими моделями. Результати дослідження довели адекватність представлення пружної ТОС в моделі динамічної взаємодії з процесом різання у вигляді одномасової системи із пружними і дисипативними характеристиками, визначеними експериментально.

Порівняння результатів моделювання і експериментальних досліджень стосовно змінності значень частот власних коливань пружної ТОС при поздовжній подачі різця, відповідності спектральних характеристик профілограм оброблених поверхонь і вільних коливань елементів ТОС, а також суттєве зменшення шорсткості обробленої поверхні при застосуванні опції SSV на верстаті ST-30 фірми HAAS (USA) з теоретично визначеними параметрами амплітуди і періоду зміни частоти обертання шпинделя, свідчать про адекватність розроблених математичних моделей і ефективність їх застосування для визначення параметрів опції SSV на токарних верстатах з ЧПК.

Ключові слова: *технологічна обробна система, регенеративні коливання, динамічна модель з функцією запізнювання, моделювання точіння, управління швидкістю обертання шпинделя.*

ABSTRACT

Danylchenko M.A. Ensuring of technological machining system dynamic quality during turning. – On the right of manuscript.

The dissertation on receiving of the candidate of technical sciences scientific degree on a specialty 05.02.08 - Mechanical engineering. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2021.

The dissertation solves an important scientific and practical problem of increasing quality of turning by improving prediction and suppression technology of regenerative oscillations. This technology is based on the use of dynamic modeling results of interaction of the TMS with the cutting process, considering machining «by chatter marks».

Unlike previous studies of methods and tools for regenerative oscillations suppression, to describe the interaction of elastic TMS and cutting process, it is proposed to apply the model of tool relative oscillations in 3D space. The model takes into account the influence of natural feedback between the elastic TMS and the cutting process on the depth, feed and cutting speed change. For the first time, the effect of machining «by chatter marks» was taken into account in the model in two directions - cutting depth and feed, which allowed obtaining the characteristics of the tool spatial movement relative to the workpiece as a function of stock change, directly related with controlled cutting data.

To choose the form of elastic TMS representation, a theoretical and experimental study of workpiece and tool contact interaction during turning on the elastic TMS dynamic characteristics formation. Dynamic model of a lathe is considered as a complex mechanical oscillating system spindle unit-workpiece-carriage taking into account workpiece and tool contact interaction and components definition by distributed models. The results of the study proved the adequacy of the dynamic model of elastic TMS interaction with the cutting process, considered as single-mass system with elastic and dissipative characteristics determined experimentally.

Comparison of simulation results and experimental studies on the variability of natural oscillation frequencies of elastic TMS during longitudinal feed of the cutter, correspondence of profile diagrams spectral characteristics of machined surfaces and free oscillations of TMS elements, as well as reduction of surface roughness when using SSV option on HAAS ST-30 (USA) with theoretically determined amplitudes and period spindle speed change period, confirms the adequacy of the developed mathematical models and the effectiveness of their application for SSV parameters determination on CNC lathes.

Keywords: *technological machining system, regenerative oscillations, dynamic model with lag function, turning modeling, spindle speed control.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Математичне моделювання стохастичних коливальних процесів у виконавчому пристрої мехатронної системи / В.Б. Струтинський, О.В. Колот, О.В. Даниленко, І.І. Верба, М.А. Руденко // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия Машиностроение. 2005. № 46. – С. 72-76
2. Данильченко М. А. Учет процесса резания в динамических моделях шпиндельных узлов металлорежущих станков / М. А. Данильченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – 2016. - №38. – С. 99-105.
3. Данильченко М. А. Исследование влияния контактного взаимодействия заготовки и инструмента на динамические характеристики токарного станка / М. А. Данильченко, А. И. Петришин // Вісник НТУУ «КПІ», сер. Машинобудування. – 2016. - №77. - С. 140-146.
4. Petrakov Y., Danylchenko M., Petryshyn A. Programming spindle speed variation in turning / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2017. - Vol 2, No1 (85), pp 4-9. *Фахове видання України категорії «А».*
5. Y. Petrakov, M. Danylchenko, A. Petryshyn. Prediction of chatter stability in turning / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2019. - Vol 5, No 1 (101). – pp. 58-64. *Фахове видання України категорії «А».*

Патенти України на корисну модель

6. Прецизійний шпиндельний вузол: Деклараційний патент на корисну модель №16043 Україна, МПК В23В 19/00 / Ю. М. Данильченко, М. А. Руденко, (Україна). – № и 2006 01638; заявлено 16.02.2006; опубл. 17.07.2006. Бюл.№7.
7. Стенд для діагностики похибок виготовлення і збирання шпиндельних вузлів гільзового виконання: Патент на корисну модель № 112210 UA, МПК В23В 25/06 (2006.01) / Ю. М. Данильченко, А. І. Петришин, М. А.

Данильченко. - № u201605411; заявл. 19.05.2016; опубл. 12.12.2016. Бюл. №23.

Тези наукових доповідей

8. Данильченко М. А. Особливості врахування процесу різання у динамічній моделі токарного верстата / М. А. Данильченко, А. І. Петришин // Загально-університетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів. Секція «Машинобудування». Підсекція «Конструювання верстатів та машин»: тези доповідей, м. Київ, 29.04.2015 р. – Київ, 2015. – С. 23-24.
9. Данильченко М. А. Експериментальне визначення динамічних характеристик токарного верстата / М. А. Данильченко, А. І. Петришин // XVI Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»: тези доповідей, м. Одеса, 22-25.06.2015 р. – Київ, 2015. – С. 195.
10. Данильченко М. А. Розрахунок динамічних характеристик шпindelних вузлів з врахуванням замкненості пружної системи верстата / М. А. Данильченко // Тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді - машинобудуванню» секція «Конструювання верстатів та машин». – К: НТУУ «КПІ», 24.05.2016. – С. 75- 79.
11. Данильченко М. А. Динамическая модель шпindelного узла металлорежущего станка / М. А. Данильченко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції, 31.05 – 3.06.2016 р. - Краматорськ : ДДМА, 2016. – С. 23.
12. Данильченко М. А. Частотні характеристики динамічної системи токарного верстата з урахуванням контактної взаємодії заготовки з інструментом / М. А. Данильченко, А. І. Петришин // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та

інженерна освіта»: тези доповідей, м. Київ, 29.06 - 01.07 2017 р. – Київ, 2017. – С. 336-337.

13. Петришин А. І. Стійкість процесу поздовжнього точіння з урахуванням контактної взаємодії заготовки та інструмента / А. І. Петришин, М. А. Данильченко // XX Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»: тези доповідей, м. Херсон, 10.09 – 13.09. 2019 р. – Київ, 2019. – С. 267-270.
14. Петришин А. І. Врахування контактної взаємодії заготовки і інструмента при моделюванні діаграм стійкості процесу поздовжнього точіння / А. І. Петришин, М. А. Данильченко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2019): матеріали тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції 14.05-16.05.2019 р., м. Чернігів. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – С. 207.
15. Петришин А. І. Передумови прогнозування стійкості процесу різання у виробничих умовах / А. І. Петришин, М. А. Данильченко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції 04-07.05.2019 р. - Краматорськ : ДДМА, 2019. – С. 24.
16. Петришин А. І. Динамічні характеристики токарного верстату при поздовжньому точінні / А. І. Петришин, М. А. Данильченко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції 29.04-30.04.2020, м. Чернігів. – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – С. 62.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ І ГАСІННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИХ КОЛИВАНЬ ПРИ ОБРОБЛЕННІ НА МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ.....	17
1.1 Місце задач моделювання і прогнозування якості оброблення в сучасній концепції розвитку обробної галузі.....	17
1.2 Існуючий стан досліджень виникнення і гасіння регенеративних коливань.....	21
1.2.1. Аналіз сталості процесу різання	21
1.2.2. Системи управління процесом різання в умовах виникнення регенеративних коливань	24
1.2.3 Системи управління процесом різання в умовах виникнення регенеративних коливань.....	26
1.3 Мета і задачі дослідження.....	26
РОЗДІЛ 2 ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ТОС ДЛЯ ТОКАРНОГО ОБРОБЛЕННЯ.....	28
2.1 Особливості врахування процесу різання у динамічній моделі токарного верстата.....	28
2.2. Математична модель виникнення регенеративних коливань при токарному обробленні.....	33
2.3 Математична модель складної механічної коливальної системи шпиндель-заготовка-супорт з урахуванням контактної взаємодії заготовки з інструментом.....	39
Висновки до 2 розділу.....	47
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ РЕГЕНЕРАТИВНИХ КОЛИВАНЬ ПРИ ТОКАРНОМУ ОБРОБЛЕННІ.....	49
3.1. Перевірка адекватності розробленої моделі процесу точіння.....	49
3.1.1. Визначення жорсткості елементів ТОС.....	49
3.1.2. Експериментальне визначення динамічних характеристик ТОС....	59
3.1.3. Моделювання процесу різання при точінні.....	64
3.1.4. Експериментальне дослідження процесу різання при точінні.....	67
3.1.5. Співставлення результатів експериментальних і теоретичних досліджень.....	72
3.2. Динамічна модель пружної системи токарного верстата при поздовжньому точінні як складної механічної коливальної системи.....	75

3.2.1. Аналітичне визначення частот власних коливань ТОС токарного верстата при поздовжньому точінні.....	75
3.2.2. Аналітичне визначення частотних характеристик ТОС токарного верстата при поздовжньому точінні.....	78
3.2.3. Аналітичне дослідження сталості процесу поздовжнього точіння з урахуванням контактної взаємодії заготовки та інструмента.....	81
3.3. Дослідження впливу контактної взаємодії заготовки та інструменту на динамічні характеристики (частоти власних коливань) пружної системи токарного верстата.....	85
Висновки до 3 розділу.....	92
РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКА ПОШУКУ ПАРАМЕТРІВ ПРОГРАМУВАННЯ ЗМІННОЇ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ (ОПЦІЇ SSV).....	94
4.1. Динамічна модель просторового руху інструмента відносно заготовки в процесі точіння.....	94
4.2. Моделювання процесу точіння.....	97
4.3. Дослідження точіння при управлінні SSV.....	101
4.3.1. Попередній вибір параметрів SSV.....	101
4.3.2. Експериментальні дослідження точіння при управлінні SSV.....	103
4.4. Впровадження результатів дослідження.....	107
Висновки до 4 розділу.....	108
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113
Додаток А Характеристики вимірювального обладнання.....	129
Додаток Б Акти впровадження	131