



ДИНАМІКА ПРОЦЕСІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗАННЯМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (PhD)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології машинобудування</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/очна(вечірня)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекції -1,5 раз на тиждень, самостійна робота - 2 рази на тиждень.</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доктор технічних наук, професор, Петраков Ю.В., т.0683565479</i>
Розміщення курсу	<i>G-Suit, Telegram, EK, Google classroom, тощо</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчання та результати навчання

Мета викладання навчальної дисципліни полягає у вивченні динамічних явищ при формоутворенні різанням та методів їх усунення. Процес різання розглядається як складна нелінійна система з внутрішніми зворотними зв'язками, в тому числі з позитивним зворотним зв'язком через функцію запізнюючого елемента. Представлені основні причини виникнення коливань в технологічній обробній системі при різанні, основна увага приділяється моделюванню у часі динамічних процесів з використанням оброблення «за слідом». Надані нові методи ідентифікації сталості систем при різання з використанням критерію сталості Найквіста для оцінювання за частотним критерієм. Оремо подані методи визначення діаграм стабільності (stability lodes diagram - SLD) в координатах глибина різання – швидкість. Розглянуті основні схеми формоутворення точінням, фрезеруванням, шліфуванням тощо. Всюди визначаються математичні моделі, що адекватно представляють динаміку процесів формоутворення та їх вплив на якість обробленої поверхні. Розглядаються динамічні явища при обробленні, методи усунення вібрацій в технологічній обробній системі, такі як пасивні, активні і комбіновані. Таким чином, набуті знання складають основу компетенцій, які становлять базу знань сучасного дослідника в машинобудівному виробництві.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння дисципліни аспіранту необхідні знання з таких дисциплін як «Вища математика», «Теорія автоматичного управління технологічними системами», «Теорія різання», «Технологія машинобудування». Результатах навчання з даної дисципліни допоможуть створювати сучасні розробки при вирішенні актуальних питань удосконалення процесів формоутворення в дисертації доктора філософії.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1 Вступ. Процес різання як замкнена динамічна система зі зворотними зв'язками.

Тема 2 Основні причини виникнення коливань при різанні. Методи математичного представлення з використанням змінних стану.

Тема 3 Динамічна модель процесу різання в замкненій технологічній обробній системі з функцією запізнення. Вплив коливань на процес формоутворення.

Тема 4 Методи оцінювання сталості процесу різання з використанням частотних характеристик і SLD (Stability Lobes Diagram).

Тема 5 Методи експериментального визначення динамічних характеристик технологічної обробної системи.

Тема 6 Методи усунення вібрацій при різання.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Література:

- 1 Altintas Y. *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design* / Cambridge University Press, New York, NY 10013-2473, USA 2012, 366p.
- 2 Tony L. Schmitz, K. Scott Smith *Machining Dynamics Frequency Response to Improved Productivity* // Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019, 382p.
- 3 Петраков Ю.В. *Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням*. УкрНДІАТ, 2004 р. 384с.
- 4 Петраков Ю.В., Драчов О.И. *Автоматическое управление процессами резания*. TNT-press, 2012. – 408с. / <https://ruslania.com/ru/knigi/450885-avtomaticheskoe-upravlenie-protsessami-rezaniya-cd-rom/>
- 5 Yue C., Gao H., Liu X., Liang S., Wang L. *A review of chatter vibration research in milling* // *Chinese Journal of Aeronautics*, (2019), 32(2): pp.215–242.
- 6 Suk-Hwan Suh, Seong-Kyoon Kang, Dae-Hyuk Chung, Ian Stroud *Theory and Design of CNC Systems*, 2008 Springer-Verlag London Limited 455p. / https://www.academia.edu/4977293/Theory_and_Design_of_CNC_Systems
- 7 Kai Cheng Editor *Machining Dynamics. Fundamentals, Applications and Practices 2009* Springer-Verlag London Limited 328p / <https://www.springer.com/gp/book/9781846283673>
- 8 David A. Stephenson, John S. Agapiou *Metal Cutting Theory and Practice. Third Edition 2016* by Taylor & Francis Group, LLC 932p. / https://www.researchgate.net/publication/317081872_Metal_Cutting_Theory_And_Practice_3rd_by_D_A_Stephenson
- 9 Методичні вказівки до інтерактивних лабораторних робіт з курсу “Управління процесами різання” для студентів ОП “Технології машинобудування” усіх форм навчання / Петраков Ю.В., – К.: КПІ, 2021.-50 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Тема	Зміст	Лекції	Самостійна робота
<i>Тема 1</i> Вступ. Процес різання як замкнена динамічна система зі зворотними зв'язками	Системний підхід до представлення процесу різання з використанням структурних схем. Моделі з одним, двома і трьома ступенями вільності при представленні системи у вигляді одномасової моделі. Зв'язки між пружними	4	

зв'язками.	переміщеннями за координатними осями та їх вплив на формування миттєвого перетину шару припуску, що зрізується. Створення адекватних математичних моделей, на підставі яких розробляються технології усунення вібрацій при різанні.		
Тема 2 Основні причини виникнення коливань при різанні. Методи математичного представлення з використанням змінних стану.	Класифікація вібрацій при різанні за причинами, що її провокують: вимушені коливання, вільні коливання і самозбудження – регенеративні коливання. Вплив нелінійностей процесу різання, нелінійностей процесу тертя, наявність динаміки самого процесу різання, що представляється аперіодичною ланкою першого порядку з постійною часу стружкоутворення. Роль функції запізнюючого аргументу в представленні процесу різання з урахуванням багато прохідності, тобто з обробленням «за слідом», як головної причини виникнення регенеративних коливань. Представлення динамічних моделей у вигляді змінних стану, зручному до моделювання чисельними методами. Прикладна програма моделювання.	4	2
Тема 3 Динамічна модель процесу різання в замкненій технологічній обробній системі з функцією запізнення. Вплив коливань на процес формоутворення.	Одномасова модель з двома ступенями вільності. Структурна модель процесу різання з урахуванням замкненості технологічної обробної системи та запізнення. Двомасові динамічні моделі. Формування пружних зв'язків в технологічній обробній системі та їх відображення в математичних моделях. Тенденції розвитку математичних моделей. Перехідні процеси при різанні. Частотні характеристики технологічної обробної системи при різанні. Критерії. Взаємовплив координатних зв'язків динамічної системи на виникнення автоколивань. Оброблення «за слідом» як головна причина виникнення регенеративних коливань в технологічній обробній системі. Представлення структури процесу різання з використанням функції запізнюючого аргументу. Технологічна спадковість форми при токарній обробці. Модель жорсткості ТОС при точінні. Прикладна програма моделювання.	8	2
Тема 4 Методи оцінювання сталості процесу різання з використанням	Критерії сталості. Методика отримання пелюсткових діаграм сталості (SLD – Stability Lobes Diagram) аналітичними методами в координатах «глибина різання –	8	2

<p>частотних характеристик і SLD.</p>	<p>швидкість різання». Чисельне моделювання динамічних процесів у часі та їх вплив на процес відтворення теоретичних траєкторій формоутворення. Чисельні методи визначення частотних характеристик у вигляді діаграми Найквіста. Модифікація критерію сталості Найквіста у застосуванні до систем з запізненням і позитивним зворотним зв'язком. Представлення математичних моделей у вигляді, зручному до застосування чисельних методів оцінювання сталості. Вплив вібрацій системи на формування хвилястості і ограновування (chatter) поверхні.</p>		
<p>Тема 5 Методи експериментального визначення динамічних характеристик технологічної обробної системи.</p>	<p>Методи експериментального дослідження динамічних характеристик ТОС. Ударні молотки та їх характеристики. Спектр вібропереміщень. Перехід від вагової характеристики до частотної у вигляді діаграми Найквіста. Оцінка сталості. Експериментальне визначення гармонік спектру технологічної обробної системи за аналізом профілограми обробленої поверхні. Чисельні методи розпізнавання спектру частот у профілограмі та алгоритм прикладної програми.</p> <p>Визначення частотних характеристик технологічної обробної системи при різання безконтактними методами. Аналіз звукової емісії при різанні. Методика співставлення звукового спектру у відповідність з фізичними параметрами системи та режимом різання.</p>	8	4
<p>Тема 6 Методи усунення вібрацій при різання.</p>	<p>Пасивні методи усунення вібрацій при різання. Технології динамічної компенсації, PCC – Passive Chatter Control, SSV – Spindle Speed Variation та інші. Моделювання динамічних поглиначів коливань та розрахунок їх параметрів. Прикладна програма моделювання для токарного оброблення. Визначення оптимальних параметрів (амплітуди і частоти) гармонічної зміни частоти обертання шпинделя при точінні. Програмування SSV на токарних верстатах з ЧПК.</p> <p>Активні методи усунення вібрацій на верстатах з ЧПК (ACC – Active Chatter Control). Конструктивні засоби активного впливу на зону різання через п'єзоелектричні або магнітострикційні активатори, вбудовані у шпиндель, проектування, управління. Активні методи впливу через приводи формоутворення на верстатах з ЧПК. Математичні моделі, прикладні програми.</p>	4	4

Екзамен		2
---------	--	---

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота передбачена за темами:

Тема 1 Вступ. Процес різання як замкнена динамічна система зі зворотними зв'язками.

Тема 2 Основні причини виникнення коливань при різанні. Методи математичного представлення з використанням змінних стану.

Тема 3 Динамічна модель процесу різання в замкненій технологічній обробній системі з функцією запізнення. Вплив коливань на процес формоутворення.

Тема 4 Методи оцінювання сталості процесу різання з використанням частотних характеристик і SLD.

Тема 5 Методи експериментального визначення динамічних характеристик технологічної обробної системи.

Тема 6 Методи усунення вібрацій при різання.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Політика щодо дедлайнів та перескладання: Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (-10 балів). Перескладання заліку відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності: Усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 20%.

Політика щодо відвідування: Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання, за яке нараховуються бали. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись в on-line формі за погодженням із керівником курсу.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, МКР, тест тощо

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 63 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;
- можливість зарахування статей, виданих за кордоном

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доктор технічних наук, професор

Юрій ПЕТРАКОВ

Ухвалено кафедрою технології машинобудування (протокол № 6 від 18 січня 2021р)

Погоджено Методичною комісією Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 7 від 19.02.2021)