



Теоретичний аналіз процесів обробки металів тиском

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	0505 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Технологія виробництва літальних апаратів
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)/заочна/дистанційна
Рік підготовки, семестр	1 курс магістри, осінній семестр
Обсяг дисципліни	5 кр. ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент кафедри ТВЛА Сабол Сергій Францович saboll@ukr.net Telegram, Viber = 0507193026
Розміщення курсу	https://ecampus.kpi.ua

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Теоретичний аналіз процесів обробки металів тиском» являє собою прикладну частину попередньо вивченого курсу «Теорія пластичної деформації». Всі знання, отримані бакалаврами при вивченні попередньої дисципліни, знаходять практичне застосування у цьому науковому курсі, який викладається магістрам. Щодо змісту дисципліни, то вона навчає розв'язанню задач, які виникають при операціях обробки металів тиском (ОМТ); осаджуванні, прошиванні, пресуванні, прокатуванні та інших. Студенти отримують знання, як використовувати сучасні методи розрахунків напружень і деформацій при пластичному формозмінненні або знаходити їх експериментальними-аналітичними методами. Студент оволодіває інженерним методом розрахунків, енергетичними методами, тощо. Надбанням цієї дисципліни є отримання знань, умінь і навичок складання і використання широкого кола методик, формул розв'язань конкретних процесів ОМТ.

Дисципліна, що розглядається, насамперед, формує наукове підґрунтя для виконання магістерської наукової роботи, як для теоретичних, так і експериментальних підходів. Вона належить до професійного і практичного циклу дисциплін, але, базуючись на двох загальноуніверситетських дисциплінах «Фізика твердого тіла» і «Механіка суцільних середовищ», постійно користується знаннями і вміннями, засвоєними студентами при вивченні дисциплін природничонаукового фундаментального циклу навчання

Метою навчальної дисципліни є формуванням у студентів володінням інженерними методами розрахунків, методом верхньої оцінки, енергетичними методами тощо, а також

отримання знань, умінь і навичок складання і використання широкого кола методик, формул для розв'язань конкретних процесів ОМТ.

Основні завдання кредитного модуля. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

знання: сучасних аналітичних методів розрахунків напружень і деформацій при пластичному формозмінненні, а також знаходження енерго- силових параметрів процесів деформування експериментальними методами.

уміння: розв'язання основних класів задач, які виникають при операціях обробки металів тиском (ОМТ): осаджуванні, прошиванні, пресуванні, прокатуванні та інших.

досвід: практичного застосування різних методів розрахунків напружень і деформацій, при здійсненні технологічних операцій обробки металів тиском.

Згідно зі стандартом вищої освіти України за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» дисципліна зможе сформувати та розвинути компетентності:

Загальні компетентності:

- **ЗК7.** Здатність спілкуватися іноземною мовою.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

- **ФК5.** Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань в авіаційній галузі промисловості.
- **ФК6.** Здатність кваліфіковано проводити вибір класу матеріалів для деталей і виробів авіаційної техніки на підставі знання будови матеріалів та неметалів та методів модифікації їх властивостей.
- **ФК8.** Здатність робити оцінку навантаження на конструктивні елементи виходячи з умов експлуатації.

Програмні результати навчання:

В результаті вивчення навчальної дисципліни «Теоретичний аналіз процесів обробки металів тиском» студенти зможуть:

- **ПРН5.** Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення.
- **ПРН8.** Оволодівати сучасними знаннями, технологіями, інструментами і методами, зокрема через самостійне опрацювання фахової літератури, участь у науково-технічних та освітніх заходах.
- **ПРН14.** Здатність обґрунтовано обирати та розробляти математичні моделі для опису складних зв'язаних задач, що відносяться до процесів проектування, виробництва випробування та сертифікації авіаційної техніки.

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

Міждисциплінарні зв'язки: вивчення дисципліни базується на знаннях наступних дисциплін «Фізико-механічні основи пластичної деформації», «Математичні основи пластичної деформації», «Технологія холодного штампування та конструювання штампів», «Технологія холодного штампування та конструювання штампів», «Технологія холодного об'ємного штампування», «Основи технології штампувального машинобудування», «Систем технологій», «Комп'ютерні технології проектування процесів і машин» та інші.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінар)	Лабораторні (комп практикум)	СРС
1	2	3	4	5	6
Розділ I. Теоретичні методи аналізу процесів обробки металів тиском					
Тема 1.1. Феноменологічний підхід до аналізу процесів обробки металів тиском. Поняття суцільного середовища. Види суцільних середовищ.		2			2
Тема 1.2. Класи задач аналізу процесів ОМТ. Класифікація методів дослідження процесів ОМТ.		2			
Тема 1.3. Закони пластичної деформації. Закон постійності об'єму Закон наявності пружної деформації сумісно з пластичною. Закон найменшого опору деформації. Закон подібності Масштабний коефіцієнт.		2		4	2
Тема 1.4 Теоретичні методи дослідження процесів ОМТ. Основні особливості. Переваги та недоліки.		2			
Тема 1.5. Метод тонких перерізів. Суть методу. Алгоритм вирішення пласкої та віссиметричної задачі.		2			
Тема 1.6. Інженерний метод. Види задач, які можна вирішити за допомогою інженерного методу.		4			
Тема 1.7. Інженерний метод. Осадження призми необмеженої довжини..		2			
Тема 1.8. Метод верхньої оцінки. Алгоритм методу. Основне рівняння . Приклади вирішення задач.		2			
Тема 1.9. Енергетичні методи. Методи балансу робіт та балансу потужностей.		2			2
Тема 1.10. Приклади практичного застосування методу балансу робіт та потужностей для аналізу		2			2

процесів обробки металів тиском.					
Тема 1.11. Експериментальні методи дослідження процесів ОМТ. Метод координатних сіток. Методика проведення експерименту. Спосіб визначення інтенсивності дотичних напружень в методі координатних сіток.		2			
Тема 1.12. Електричні методи дослідження процесів ОМТ. Тензометрія.		2			
Разом за розділом 1.		30		4	
Розділ 2. Теоретичний аналіз процесів обробки металів тиском					
Тема 2.1. Осадження. Напружено-деформований стан при осадженні. Характер розподілу напружень та деформацій при осадженні. Формула Зібеля.		1		4	
Тема 2.2. Осадження Окремі випадки розв'язань. Фактори, що впливають на опір деформуванню. Коефіцієнт форми.		2			2
Тема 2.3. Видавлювання. Класифікація. Нерівномірність деформації при видавлюванні. Зусилля на калібруючому пояску матриці.		1		4	
Тема 2.4. Видавлювання. Визначення зусилля на конічній ділянці матриці.		1			
Тема 2.5. Прошивання. Вплив співвідношення діаметрів заготовки та прошивача на закономірності протікання процесу прошивання.		1			2
Тема 2.6. Прокатування. НДС при прокатуванні. Основні параметри прокатування, взаємозв'язок між ними. Способи визначення випередження.		1		6	
Тема 2.7. Аналіз процесу повздовжнього прокатування		1			2

методом плоских перерізів. Алгоритм вирішення.					
Разом за розділом 2		10		14	
Екзамен.		2	(2)		(6)
Всього годин		36		18	

4. Навчальні матеріали та ресурси

Рекомендована література

Базова

1. М.В. Сторожєв, Є.А. Попов. Теорія обробки металів тиском. Машинобудування, 1977, 423 с.
2. Н.П. Громів. Теорія обробки металів тиском. М., Металургія, 1978, 360 с.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Теоретичний аналіз процесів обробки металів тиском». Київ, 2020.

Допоміжна

1. В.П. Северденко. Теорія обробки металів тиском. Вища школа, 1966, 224 с.
2. А. Д. Томльонов. Теорія пластичного деформування металів. Вид-во "Металургія", 1972, 408 с.
3. Н.М. Малінін. Прикладна теорія пластичності та повзучості. Машинобудування, 1975, 400 с.
4. А. І. Целіков. Основи теорії прокатки. Вид-во "Металургія", 1965, 247 с.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Лекція 1. Феноменологічний підхід до аналізу процесів обробки металів тиском. Поняття суцільного середовища. Види суцільних середовищ.
2	Лекція 2. Класи задач аналізу процесів ОМТ. Класифікація методів дослідження процесів ОМТ.
3	Лекція 3. Закони пластичної деформації. Закон постійності об'єму Закон наявності пружної деформації сумісно з пластичною. Закон найменшого опору деформації. Закон подібності Масштабний коефіцієнт. [1] §5.10 с.166...168 §5.6 с.208...213; [4] §§41,42,44,45 с140...143, 145...150.
4	Лекція 4. Основне рівняння методу ліній ковзання. Побудувати сітку ліній ковзання для операції проникнення пуансона в пластичний напівпростір.
5	Лекція 5. Метод тонких перерізів. Суть методу. Алгоритм вирішення плоскої та вісесиметричної задачі.
6	Лекція 6. Інженерний метод. Види задач, які можна вирішити за допомогою інженерного методу. [1] §6.3 с. 180...184; [2] §6.4 с. 237...251; [4] §53 с. 176...187. Осадження циліндричної заготовки. [1] §6.3 с. 180...184; [2] §6.4 с. 237...251; [4] §53 с. 176...187.
7	Лекція 7. Інженерний метод. Осадження призми необмеженої довжини. [1] §6.3 с. 180...184; [2] §6.4 с. 237...251; [4] §53 с. 176...187..
8	Лекція 8. Метод верхньої оцінки. Алгоритм методу. Основне рівняння . Приклади вирішення задач.

9	Лекція 9. Енергетичні методи. Методи балансу робіт та балансу потужностей.
10	Лекція 10. Приклади практичного застосування методу балансу робіт та потужностей для аналізу процесів обробки металів тиском.
11	Лекція 11. Експериментальні методи дослідження процесів ОМТ. Метод координатних сіток. Методика проведення експерименту. Спосіб визначення інтенсивності дотичних напружень в методі координатних сіток. [2] §7.4 с.278...282
12	Лекція 12. Електричні методи дослідження процесів ОМТ. Тензометрія.
13	Лекція 13. Осадження. Напружено-деформований стан при осадженні. Характер розподілу напружень та деформацій при осадженні. Формула Зібеля. [1] §§7.1.1...7.1.3 с. 231...260. Окремі випадки розв'язань. Фактори, що впливають на опір деформуванню. Коефіцієнт форми. [1] §7.1.5 с.266...268.
19	Лекція 14. Видавлювання. Класифікація. Нерівномірність деформації при видавлюванні. Зусилля на калібруючому пояску матриці. [1] §§7.4.2...7.4.4 с. 289...294; §7.4.5 с. 296...301; [2] §8.3 с. 316...319.
20	Лекція 15. Видавлювання. Види осередку деформації, вплив на їх формування з боку контактної тертя та температури заготовки. Питоме зусилля при пресуванні в контейнері.. [1] §§7.4.2...7.4.4 с. 289...294; §7.4.5 с. 296...301; [2] §8.3 с. 316...319.
21	Лекція 16. Прошивання. Вплив співвідношення діаметрів заготовки та прошивача на закономірності протікання процесу прошивання. Сітка ліній ковзання при прошиванні. [1] §§7.5.1...7.5.4 с. 301...315.
22	Лекція 17-18. Прокатування. НДС при прокатуванні. Основні параметри прокатування, взаємозв'язок між ними. Способи визначення випередження. [2] §8.4 с. 319...325; [7] §§2.1...2.6 с. 43...54, §§4.4...4.9 с. 126...142.

6. Практичні заняття. Теми практичних занять.

1. Тензори в механіці суцільних середовищ. Тензор деформації та напружень Діі над тензорами.
2. Кінематичні, граничні, динамічні умови. Співвідношення та рівняння в теорії пластичності.
3. Метод сумісного вирішення системи наближених диференціальних рівнянь рівноваги та умови пластичності в декартовій та циліндричній системі координат.
4. Метод балансу роботи та потужності. Особливості розв'язання задач.
5. Метод верхньої оцінки.
6. Осадження. Розв'язки задач.
7. Пряме та зворотне видавлювання. Особливості розв'язання задач.
8. Прокатування. Особливості розв'язання задач.
9. Проведення теоретичних розрахунків в аналітично експериментальних методах.

7. Семінарські заняття

Семінарські заняття в даному курсі не передбачено

8. Лабораторні заняття (комп'ютерний практикум)

Метою лабораторних робіт, як завжди, є підтвердження теоретичного матеріалу, прочитаного на лекціях, дослідженнями процесів, що розглядаються, на лабораторних зразках. Головним чином досліджуються силові характеристики на свинці і нерівномірність деформацій

на багатокольорових зразках з пластиліну. Обробляючи дані експериментів, можна упевнитись у прийнятності наведених теоретичних формул.

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. Годин
2	Лаб.1. Дослідження процесу осаджування.	6
3	Лаб.2. Дослідження процесу пресування	6
4	Лаб.3 Дослідження процесу прокатування.	6

Самостійна робота

Політика та контроль

1. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Модульна контрольна робота проводиться з метою виявлення знань студентів з основних розділів дисципліни. Основні цілі контрольних робіт – контроль за поточним засвоєнням знань, атестація студентів та ін. Результати контрольних робіт враховуються в рейтинговій системі оцінювання результатів навчання.

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

Шкала PCO кредитного модуля, семестрова атестація з якого передбачена у вигляді екзамену, формується як сума вагових балів контрольних заходів, проведених протягом семестру RC та вагового балу з екзамену RE

$$R=RC+ RE$$

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

шість відповідей (кожного студента в середньому) на практичних заняттях;

захист двох тем на практичних заняттях;

модульна контрольна робота, яка розбивається на дві по одній академічній годині;

відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал –2.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює:

$$2 \text{ бали} \times 9 = 18 \text{ балів}$$

За умови гарної підготовки і активної роботи на практичному занятті –

2 бали. Одному або двом кращим студентам на кожному практичному занятті може додаватися як заохочування 1 бал.

2. Захист трьох лабораторних робіт

Ваговий бал –7.

Максимальна кількість балів:

$$7 \text{ балів} \times 3 = 21 \text{ балів}$$

3. Модульний контроль

Ваговий бал –10.

Максимальна кількість балів за 2 контрольні роботи:

$$10 \text{ балів} \times 2 = 20 \text{ балів}$$

Критерії оцінювання:

«відмінно» – 10 балів – повне розкриття всіх питань, які винесені на контрольну роботу;

«добре» – 8 балів – на 75% питань (серед них обов'язково головні) дано повні відповіді, на 25% часткові;

«задовільно» – 6 балів – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки;

«незадовільно» – 0 балів – незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «задовільно»).

Штрафні та заохочувальні бали за:

відсутність на практичному занятті без поважних причин – 1 бал;

участь у олімпіадах з дисципліни, участь у конкурсах робіт, підготовка рефератів та оглядів робіт від 5 до 10 балів;

Сума як штрафних так і заохочувальних балів не має перевищувати 10.

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює 60. Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 30 балів.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює 40% від R, RE = 40 балів.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RC = 12+28+20 = 60 \text{ балів}$$

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 30 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \cdot 30 = 15$ балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 60 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 30.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання і одне практичне. Перелік питань наведений у методичних рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля.

Кожне теоретичне питання оцінюється у 10 балів, а практичне – 20 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

– «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-9 балів;

– «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 8-7 балів;

– «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 6 балів;

– «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

– «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 20-18 балів;

– «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 17-15 балів;

– «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 14-12 балів;

– «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є не зараховані лабораторні роботи або не зарахована розрахункова робота	Не допущено

Тематика завдань до самостійної роботи додається до робочої програми.

8. Індивідуальні завдання

Тематика індивідуальних завдань додається до робочої програми.

9. Контрольні роботи

Для контролю отриманих знань, крім опитів студентів під час лекцій і перед лабораторними заняттями, використовується одна модульна контрольна робота (МКР), результати виконання якої впливають на оцінку другої атестації і стартової рейтингової оцінки. МКР включає 4 теми першого розділу і теми 2.1 і 2.2 другого розділу. Всі питання МКР тестового типу, відповіді на які мають багатозначний характер.

10. Рейтингова система оцінювання результатів навчання¹

РСО надається у вигляді додатка до робочої програми.

11. Методичні рекомендації

Дисципліна «Теоретичний аналіз процесів ОМТ» побудована такою, що ті теоретичні передумови та загальні підходи, прочитані у розділі 1, потім застосовуються у розрахунково-графічній роботі для процесів ОМТ з розділу 2. На це також спрямовані лабораторні роботи, де з 5 тем практичне випробування проходять процеси 3 тем, а з урахуванням того, що процеси прошивання і об'ємного штампування досліджується лабораторними роботами то це всі процеси розділу 2. Використання сучасних електричних методів вимірювання з тензодатчиками опору, АЦП і ЕОМ дозволяє закріпити знання і вдосконалити уміння, отримані за вивчення кредитного модуля.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено, к.т.н., доц. Сабол Сергій

Ухвалено кафедрою ТВЛІА (протокол №16 від 06.07.2022)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол №11 від 29.08.2022)
