



ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	G - Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G9 Прикладна механіка
Освітня програма	Технології машинобудування
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна/заочна/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	http://my.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Воронцов Б.С., voronts@gmail.com Практичні: д.т.н., проф. Воронцов Б.С., voronts@gmail.com
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна складається з п'яти тем: ПТФ-1 "Сучасний підхід до оцінки ГСП. Оброблюваність деталей зі спеціальних матеріалів"; ПТФ-2 "Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів"; ПТФ-3 "Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів"; ПТФ-4 "Концепція та технології надточної механічної обробки"; ПТФ-5 "Математичне забезпечення процесів механічної обробки на верстатах з ЧПУ", які є основою для підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати науково-технічні задачі підвищеної складності в області технологічного забезпечення машинобудівних виробництв, які застосовують широкий спектр видів як субтрактивної обробки виробів, так і їх адитивного виготовлення, або власне формування матеріалу, які затребувані у світовій економіці.

Метою кредитних модулів є формування у студентів здатностей до розробки технологічних процесів виготовлення складнопрофільних виробів спеціального призначення і з важкооброблюваних матеріалів, за умови забезпечення заданої продуктивності та з мінімальними матеріальними витратами. Також студент зможе професійно: розробляти нові процеси формоутворення поверхонь виробів і ефективно експлуатувати сучасне технологічне обладнання для механічної обробки виробів, зокрема верстати з ЧПУ; проектувати процеси формоутворення складнопрофільних виробів на верстатах з ЧПУ, тобто вирішувати задачу визначення траєкторії руху інструмента відносно заготовки з адаптивною подачею інструмента.

Основні завдання навчальної дисципліни: згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають отримати наступні програмні компетенції:

ФК1 Здатність визначати раціональні схеми формоутворення складнопрофільних деталей машин і з важкооброблюваних матеріалів, основних принципів побудови технологічних процесів виготовлення таких деталей.

ФК2 Здатність визначити раціональний спосіб отримання заготовки.

ФК3 Здатність до проектування маршрутних технологічних процесів обробки складнопрофільних деталей машин та їх оптимізація.

ФК4 Здатність до проектування змісту технологічних операцій, що виконуються на окремих верстатах, включаючи і верстати з ЧПК.

ФК5 Здатність визначити раціональні типи технологічного обладнання й інструменту для виготовлення деталей заданої форми.

ФК6 Здатність визначити раціональні припуски, режими обробки й спроектувати відповідне оснащення.

ФК7 Здатність створювати нові технічні об'єкти машинобудування з урахуванням принципів дизайну та ергономіки.

та продемонструвати такі програмні результати навчання:

РН 1 Аналіз вхідних даних для розробки технологічного процесу виготовлення складнопрофільних виробів і з важкооброблюваних матеріалів; користування довідковою літературою та комп'ютерними засобами інформації.

РН 2 Володіння методиками та засобами дослідження та вдосконалення технологічних процесів виготовлення виробів для забезпечення високих характеристик якості обробки та зменшення матеріальних витрат.

РН 3 Формулювання технічних завдань на розробку технологічних процесів виготовлення деталей.

РН 4 Самостійне прийняття рішень стосовно застосування різних методів та підходів для вдосконалення існуючих технологічних процесів обробки спеціальних деталей.

РН 5 Визначення характеристик заготовки, вибору інструмента, розрахунку припусків, режимів механічної обробки, проектування технологічних пристроїв, заповнення маршрутних та операційних технологічних карток.

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

Для вивчення даної дисципліни необхідно вивчити наступні дисципліни: механіка матеріалів і конструкцій, технологія конструкційних матеріалів, теорія механізмів і машин, метрологія, стандартизація і сертифікація, теорія різання матеріалів, теорія автоматичного управління технологічними системами, САПР та інформаційні системи в машинобудуванні, технологічні процеси для верстатів з ЧПУ, проектування гнучких виробничих систем.

Ця дисципліна є однією із базових дисциплін для опанування другого рівня освітньої програми для здобуття ступеня магістра за спеціальністю "Прикладна механіка" та оволодіння сучасної професії інженера-технолога машинобудівного виробництва.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість (кредитів) годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС
Розділ 1. Сучасний підхід до оцінки геометричної структури обробленої поверхні.					
Тема 1.1. Сучасний підхід до оцінки геометричної структури обробленої поверхні	12	2	2	–	8
Разом за розділом 1	12	2	2	–	8
Розділ 2. Оброблюваність різанням аерокосмічних сплавів і композитних матеріалів. Інструментальні матеріали					
Тема 2.1. Оброблюваність сучасних авіакосмічних матеріалів світових виробників	–	2	2	–	6
Тема 2.2. Оброблюваність авіакосмічних матеріалів, виготовлених за національними стандартами	–	2	2	–	6
Тема 2.3. Оброблюваність полімерних і металополімерних композитів. Інструментальні матеріали	–	2	2	–	6
Разом за розділом 2	30	6	6	–	18
Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів					
Тема 3.1. Технології формоутворення й обробки лопаток турбіни ГТД	–	2	2	–	6
Тема 3.2. Методи високопродуктивного та якісного шліфування турбінних лопаток	–	2	2	–	6
Тема 3.3. Типова технологія виготовлення лопаток турбіни ГТД	–	2	2	–	6
Тема 3.4. Типова технологія виготовлення лопаток компресора ГТД	–	2	2	–	6
Тема 3.5. Групові технології і автоматизоване виробництво лопаток	–	2	2	–	6
Тема 3.6. Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей ГТД	–	2	2	–	6
Разом за розділом 3	60	12	12	–	36
Розділ 4. Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів					
Тема 4.1. Класифікація, оброблюваність керамічних матеріалів, особливості призначення міжопераційних припусків	–	2	2	–	6
Тема 4.2. Технологія алмазної обробки прецизійних керамічних куль	–	2	2	–	6
Разом за розділом 4	20	4	4	–	12

Розділ 5. Концепція та технології надточної механічної обробки					
Тема 5.1. Концепція та загальна характеристика технологій надточної механічної обробки	–	2	2	–	6
Тема 5.2. Типові технології надточної механічної обробки	–	2	2	–	6
Разом за розділом 5	20	4	4	–	12
Розділ 6. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів на верстатах з ЧПУ					
Тема 6.1. Технологічне забезпечення шліфування калібрів станів ХПТ.	–	2	2	–	4
Тема 6.2. Технологічне забезпечення шліфування оправок станів ХПТ.	–	2	2	–	4
Тема 6.3. Технологічне забезпечення шліфування гвинтової канавки гайки гвинтової передачі кочення.	–	2	2	–	4
Тема 6.4. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних імплантатів.	–	2	2	–	4
Разом за розділом 6	32	8	8	–	16
Іспит	6	–	–	–	6
Всього годин у I семестрі	180	36	36	–	108
Курсовий проєкт у II семестрі	45	–	–	–	45
Всього годин	195	36	36	–	123

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

- Петраков Ю. В. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові данні (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36526>
- Петраков Ю. В. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,02 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36526>
- Равська Н. С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н. С. Равська, П. П. Мельничук, Т. П. Ніколаєнко., О. А. Охріменко. – К.: Вид. СКД-Друк, 2013. – 215 с.
- Новиков Ф. В. Оптимальные решения в технологии машиностроения: монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, В. Г. Шкурупий. – Д.: ЛИРА, 2018. – 424 с.
- Равська Н. С. Геометрія спряжених поверхонь / Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук, Г. М. Виговський. – Житомир: ЖІТІ, 2001 – 314 с.

Додаткова література

- Богуслаев В. А. Технология производства авиационных двигателей : Учебн. пособ. / В. А. Богуслаев, А. Я. Качан, В. К. Яценко и др.; Под ред. В. А. Богуслаева / Ч. 3: Методы обработки деталей авиационных двигателей. – 2008. – 638 с.

7. Гусев В. В. Технологическое обеспечение качества обработки изделий из технической керамики: монография / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 250 с.
8. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: Монография в 6-и томах / Под общ. ред. Н. В. Новикова. – Том 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А. А. Шепелева, – Киев: ИСМ НАНУ, 2007. – 340 с.
9. High performance cutting of advanced aerospace alloys and composite materials. R. M'Saoubi, D. Axinte, S.L. Soo, Ch. Nobel, H. Attia, Gr. Kappmeyer, S. Engin, W.-M. Sim. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 64, Issue 2, 2015, Pages 557-580.
10. Abrasive machining of advanced aerospace alloys and composites. F. Klocke, S.L. Soo, B. Karpuschewski, J.A. Webster, D. Novovic, A. Elfizy, D.A. Axinte, S. Tonissen. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 64, Issue 2, 2015, Pages 581-604.
11. Твердые сплавы – Классификация, история, назначение, сравнение <http://pobedit.com.ua/standarts/articles/43-hard-alloys/201-hard-alloys-classification-history-purpose-comparison.html>.
12. Wear of a Diamond Wheel during Grinding of Ceramic Balls Made of Silicon Carbide. Sokhan', S.V., Voznyy, V.V., Redkin A.V. at all. Journal of Superhard Materials, (2020) 42(6), 432–442.
13. Мубаракшин Р. М. Оптимизация вариантов технологий и методов шлифования лопаток газотурбинных двигателей / Р. М. Мубаракшин // Технология машиностроения 2018 № 2 С. 10-19.
14. Manufacturing technologies toward extreme precision. Zhang Z., Yan J., Kuriyagawa T./ Int. J. Extrem. Manuf. 1 (2019) 022001 (22pp).
15. Review on the progress of ultra-precision machining technologies. Yuan J., Lyu B., Hang W., Deng Q. Front. Mech. Eng. 2017, 12(2): 158–180.
16. Ларшин В. П. Профильное шлифование зубчатых колес высокопористыми абразивными кругами / В. П. Ларшин, Н. В. Лищенко, С. В. Рябченко, В. В. Нежебовский, Г. В. Середа // Оборудование и инструмент для профессионалов 2016 №5 С. 20-23.
17. Changing the Performance of Diamond Finishing of Ceramic Balls of Boron Carbide and Silicon Nitride. Sokhan', S.V., Maystrenko A.L., Borimsky, A.I. at all. Journal of Superhard Materials, (2021) 43(2), 135–144.
18. A Review on Surface Finishing Techniques for Difficult-to-Machine Ceramics by Non-Conventional Finishing Processes / Lida Heng, Jeong Su Kim, Jun Hee Song, and Sang Don Mun / Materials 2022, 15, 1227. <https://doi.org/10.3390/ma15031227>
19. Advances in ultra-precision machining of micro-structured functional surfaces and their typical applications / Shaojian Zhang, Yuanping Zhou, Haijun Zhang, Zhiwen Xiong,*, Suet To / International Journal of Machine Tools and Manufacture 142 (2019) 16-41.
20. ДСТУ ISO 12085-2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Параметри структурних елементів (ISO 12085:1996, IDT).
21. ISO 4287:1997/Cor.1:1998 Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters (1997). (Геометричні характеристики виробів (GPS). Текстура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення й параметри структури). Стандарт розглянуто й потім підтверджено у 2015 році.
22. ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture (1996). (Геометричні характеристики виробів (GPS). Текстура поверхні. Профільний метод — Правила та процедури оцінки текстури поверхні). Стандарт розглянуто й потім підтверджено у 2013 році.

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Лекція 1 Розділ 1. Предмет курсу. Сучасний підхід до оцінки геометричної структури обробленої поверхні. Тема 1.1. Вступ. Основні тенденції розвитку процесів механічного оброблення сьогодення. Мета і предмет курсу. Зв'язок з іншими дисциплінами. Залежність експлуатаційних характеристик обробленої поверхні від геометричної структури обробленої поверхні (ГСП) й стану поверхневого шару. Зв'язок ГСП обробленої поверхні, стану поверхневого шару й технологічної спадковості. Основні поняття, терміни та визначення показників оцінки ГСП обробленої поверхні. Профільний метод вимірювання, 3D вимірювання ділянки поверхні. Нормативна база оцінки ГСП. Сучасні тенденції її удосконалення. [1-2, 20-22] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1-2].
2	Лекція 2 Розділ 2. Оброблюваність різанням аерокосмічних сплавів і композитних матеріалів. Інструментальні матеріали Тема 2.1. Оброблюваність сучасних авіакосмічних матеріалів світових виробників. Актуальність сучасних рішень, нові підходи до технологій високоефективного різання авіакосмічних сплавів і композиційних матеріалів. Три групи викликів для сучасних авіакосмічних матеріалів за оброблюваністю лезовим інструментом в останніх авіаційних програмах. Особливість поняття оцінки оброблюваності авіакосмічних матеріалів. Інструментальні матеріали застосовують для лезової обробки матеріалів для авіаційних двигунів, зокрема матеріалів на основі Ni. Особливість лезової обробки матеріалів на основі Ti для авіадвигунів. Особливість лезової обробки матеріалів на основі Ti для авіадвигунів. Ранжування за зносостійкістю, в'язкістю (стійкістю до крихкого руйнування) матеріалів на основі cBN, кераміки й карбідних матеріалів. Інструментальні матеріали для лезової обробки матеріалів корпусу літака, зокрема полімерних композитів. [1,9-10] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерела [9-10].
3	Лекція 3 Розділ 2. Оброблюваність різанням аерокосмічних сплавів і композитних матеріалів. Інструментальні матеріали Тема 2.2. Оброблюваність авіакосмічних матеріалів, виготовлених за національними стандартами. Загальна характеристика жароміцних, високоміцних і антикорозійних сталей і сплавів. Різниця в призначенні між теплостійкими, жаростійкими й жароміцними сталями. Високоміцні сталі. Класифікація (8 груп) важкооброблюваних сталей і сплавів за оброблюваністю. Загальна характеристика оброблюваності матеріалів кожної групи. [1,5] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,5].
4	Лекція 4 Розділ 2. Оброблюваність різанням аерокосмічних сплавів і композитних матеріалів. Інструментальні матеріали Тема 2.3. Оброблюваність полімерних і металополімерних композитів. Інструментальні матеріали.

	Технології механічної обробки деталей з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) і металополімерних композиційних матеріалів (МПКМ) лезовим інструментом. Актуальність, особливості процесів механічної обробки деталей з ПКМ і МПКМ. Особливості процесів точіння, свердління і фрезерування. [1-5] Актуальність процесів алмазно-абразивної обробки ПКМ і МПКМ. Проблеми, які виникають під час алмазно-абразивної обробки ПКМ. Ідеологія вибору типу алмазного інструмента для обробки ПКМ. Механізм стружкоутворення під час обробки одношаровим алмазним інструментом. Технології розрізання деталей з МПКМ в вигляді листових і плиткових матеріалів. Шліфування. Свердління отворів, зенкування. [1,8] Тема 2.4. Інструментальні матеріали. Загальна характеристика інструментальних сталей. Інструментальні вуглецеві й леговані сталі. Інструментальні леговані сталі. Швидкорізальних сталі. Металокерамічні тверді сплави. Три групи застосовуваності твердосплавного різального інструменту. [1,11] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1] і джерела [11].
5	Лекція 5 Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.1. Технології формоутворення й обробки лопаток турбіни ГТД. Концепція наскрізної цифрової підтримки життєвого циклу лопаток турбіни. Моделеорієнтований підхід до підготовки виробництва. Цифровий двійник технологічного процесу виготовлення лопаток турбіни. Перспективні методи одержання заготовок лопаток турбін. Технологічні рішення отримання виливків лопаток з монокристалічною структурою. Алгоритм автоматизованого знаходження оптимального просторового розподілу припуску в заготовках робочих лопаток турбіни. Критерії вибору варіантів технологій з різним ступенем концентрації операцій шліфування основних типових поверхонь лопаток. Варіант технології комплексного шліфування основних типових поверхонь лопаток. Варіант технології диференційованої обробки основних типових поверхонь лопаток. Варіанти технології обробки основних типових поверхонь лопаток застосовується у крупносерійному виробництві. особливості сучасного гнучкій виробничій осередку (ГПО) на швидко переналагоджуваній елементній базі [1,3-5,13]. Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1,3-5] і джерело [13].
6	Лекція 6 Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.2. Методи високопродуктивного та якісного шліфування турбінних лопаток. Недоліки методу VIPER шліфування турбінних лопаток. Варіант технології шліфування "ялинкового" хвостовика турбінної лопатки. Основи глибинного шліфування профільних поверхонь деталей. Сутність процесу глибинного шліфування. Необхідна умова застосування процесу глибинного шліфування профільних поверхонь виробів. Формування профілю шліфувального інструмента в процесі шліфування. Вимоги до шліфувального інструменту для глибинного шліфування. Варіанти технології шліфування бандажних полок, лабіринтів, торців пера, їх переваги й недоліки. Сутність багатокоординатного глибинного шліфування турбінних лопаток. [1,3-5,7,13,15] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1,3-5] і джерела [13,16].
7	Лекція 7 Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.3. Типова технологія виготовлення лопаток турбін ГТД. Головні чинники впливу на побудову технології виготовлення лопаток ротора турбіни. Метод одержання заготовок лопаток турбін. Пристрої-супутники під час

	обробки турбінних лопаток. Застосування методу глибинного шліфування для утворення зубів ялинкового профілю лопаток турбін по цілому. Процес високошвидкісного шліфування під час обробки турбінних лопаток. [1,3-5,16] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1,3-5] і джерела [16].
8	Лекція 8 Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.4. Типова технологія виготовлення лопаток компресора ГТД. Метод одержання заготовок лопаток компресорів. Три технології виготовленні профільної поверхні лопаток. Основи високошвидкісної механічної обробки деталей, високошвидкісне фрезерування лопаток компресора ГТД. Сутність процесу високошвидкісної механічної обробки деталей. Необхідна умова високошвидкісного фрезерування профільної поверхні лопаток компресора. Чотири основні вимоги до різального інструменту для високошвидкісного фрезерування лопаток компресорів. Забезпечення рівномірності припуску з боку спинки, корита й прикомлевих ділянок. Процеси викінчувальної обробки лопаток компресорів. [1,3-5] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,3-5].
9	Лекція 9 Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.5. Групові технології і автоматизоване виробництво лопаток ГТД. Переваги застосування групової технології виробництва лопаток ГТД. Основний принцип побудови групової технології виробництва лопаток ГТД. Сутність вертикальної і горизонтальної будови технологічної бази даних для групової технології. Три основні технологічні принципи автоматизованого виробництва лопаток ГТД. Головний ефект від переносу операцій зміни баз (від заготівельних баз лопаток до баз для механічної обробки) на п'ятиосьові фрезерні центри з ЧПУ. Перехід від баз, створених для обробки проточної частини лопаток до баз для обробки хвостовиків. [1,3-5] Тема 3.6. Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей ГТД Фактори механічної обробки і експлуатації, що впливають на несучу здатність лопаток компресора. Методи механічної обробки, які застосовують для підвищення несучої здатності лопаток. Алмазне вигладжування тонкостінних валів. [1,3-5,6] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,3-5,6].
10	Лекція 10 Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.6. Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей ГТД Вплив алмазного вигладжування на деталі, які працюють при підвищених температурах, опір контактній втомленості деталей, зносостійкість відновлених поверхонь, азотованих деталей і титанових сплавів. Алмазне вигладжування полотна дисків компресора. Ультразвукове зміцнення деталей ГТД сталевими кулями, пневмо- і гідродробоструминне зміцнення. Віброобробка лопаток компресора. Магнітно-абразивне полірування деталей ГТД. Пневмоімпульсна обробка тонкостінних валів ГТД. Зміцнення валів ГТД пневмороторним методом. Турбоабразивна обробка деталей ГТД. [1,3-5,6] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,3-5,6].
11	Лекція 11 Розділ 4. Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів. Тема 4.1. Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів. Технічна кераміка (ТК), різновиди: кераміка чистих оксидів, карбідна, нітридна, пірокерами або ситали. Галузі застосування ТК. Критерії крихкості керамічних матеріалів. Оброблюваність ТК. Основний метод одержання високоточних

	поверхонь деталей із ТК. Загальне пошкодження керамічної деталі після шліфування, критерій загального пошкодження. Раціональний вибір режимів механічних і фізико-хімічних методів оброблення ТК. Особливості процесів шліфування керамічних деталей. Математична модель процесу шліфування керамічних деталей. Вплив схеми шліфування, режимів, характеристик, різальної здатності, зносу алмазного інструмента на дефектність обробленої поверхні. Принцип раціонального перерозподілу припуску між операціями обробки для видалення поверхневого зруйнованого шару, що залишився після чорнового шліфування. [1,7,18] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,7,18].
12	Лекція 12 Розділ 4. Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів. Тема 4.2. Технологія, обладнання і методи алмазно-абразивної обробки деталей типу «куля» з конструкційної кераміки. Основні закономірності процесу. Показники продуктивності і якості обробки. [1,7,12,17-18] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1,7] і джерела [12,17-18].
13	Лекція 13 Розділ 5. Концепція та технології надточної механічної обробки. Тема 5.1. Концепція та технології застосування надточної обробки. Діаграма Танігучі для прогнозування розвитку досяжної точності обробки з часом. Напрацювання з технологій надточної механічної обробки, особливо надточного лезового різання, надточного шліфування, детермінованого полірування для корекції форми та надгладкого полірування і порівняння із розумінням їх принципів, методологій та застосувань. Вдосконалення та нові виклики у виробництві великоапертурних, надзвичайно точних та надгладких асферичних оптичних поверхонь, таких як EUV-літографія, вимагають обробляти поверхні дзеркал EUV до шорсткості на рівні субангстрему. [14-15,19] Завдання для СРС – вивчити відповідні джерела [14-15,19].
14	Лекція 14 Розділ 5. Концепція та технології надточної механічної обробки. Тема 5.2. Типові процеси надточної механічної обробки: 1) надточне різання, 2) надточне шліфування, 3) надточне полірування – може бути для корекції форми або для отримання надгладкої поверхні, та 4) нетрадиційна надточна обробка (наприклад, лазерна контурна обробка та іонно-плазмова контурна обробка). [14-15,19] Завдання для СРС – вивчити відповідні джерела [14-15,19].
15	Лекція 15 Розділ 6. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів на верстатах з ЧПУ. Тема 6.1. Технологічне забезпечення шліфування калібрів станів ХПТ. Особливості шліфування профілю канавок калібрів станів холодної прокатки труб (ХПТ) на спеціальному шліфувальному верстаті з ЧПК. Математична модель процесу формотворення профілю канавки шліфуванням: методика представлення геометричних моделей робочої поверхні калібру у тривимірних цифрових масивах, алгоритм моделювання процесу шліфування. Стратегія зрізання припуску. Керуюча програма у відповідності до вибраної стратегії зрізання припуску. [1] Завдання для СРС – вивчити джерело [1].
16	Лекція 16 Розділ 6. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів. Тема 6.2. Технологічне забезпечення шліфування оправок станів ХПТ.

	Особливості виготовлення деталей малої жорсткості. Шліфування оправок станів ХПТ з криволінійною твірною на круглошліфувальному верстаті. Конструкції люнетів. Математична модель процесу формотворення робочої поверхні оправки шліфувальним кругом у формі тора. Математична модель геометричної взаємодії шліфувального круга з поверхнею заготовки. Визначення зміни швидкості зрізування припуску за повздовжньою координатою. Алгоритм управління режимом різання при шліфуванні робочої поверхні оправок. [1] Завдання для СРС – вивчити джерело [1].
17	Лекція 17 Розділ 6. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів. Тема 6.3. Технологічне забезпечення шліфування гвинтової канавки гайки гвинтової передачі кочення. Особливості шліфування канавок гайок гвинтових пар кочення. Накатування гвинтів для гвинтових передач кочення. Розробка математичної моделі процесу формотворення. Особливості контролю якості під час виготовлення гвинтових передач кочення. [1] Завдання для СРС – вивчити джерело [1].
18	Лекція 18 Розділ 6. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів. Тема 6.4. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних імплантів. Недоліки універсальних САМ-систем і необхідність створення спеціальної управляючої програми для виготовлення робочої поверхні протезів колінних суглобів людини. Технологічні схеми формотворення робочої поверхні протезів фрезеруванням, шліфуванням. Математичні моделі формотворення. Алгоритми автоматичного вибору стратегії формотворення. Модуль САМ систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК. [1] Завдання для СРС – вивчити джерело [1].

5.5. Практичні заняття

Практичні заняття охоплюють тематику першого розділу лекційного матеріалу і розглядають питання практичного визначення параметрів і функцій геометричної структури поверхні після механічного оброблення.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Опрацювання файлів даних виміру шорсткості ділянки плоскої поверхні, отриманих на оптичному профілометрі «Мікрон-Альфа»: визначення значення амплітудних параметрів R_p , R_v , R_t , R_a , R_q , R_z , усередненого кроку нерівностей R_{sm} , відносної опорної довжини профілю t_p на рівні контуру піків PCL. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
2	Опрацювання файлів даних виміру шорсткості ділянки сферичної поверхні, отриманих на оптичному профілометрі «Мікрон-Альфа»: визначення значення амплітудних параметрів R_p , R_v , R_t , R_a , R_q , R_z , усередненого кроку нерівностей R_{sm} , відносної опорної довжини профілю t_p на рівні контуру піків PCL. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].

3	Побудова графіку опорної кривої профілю плоскої поверхні на основі профілограм, отриманих при виконанні практичної роботи №1. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
4	Побудова графіку опорної кривої профілю плоскої/сферичної поверхні на основі профілограм, отриманих при виконанні практичної роботи №2. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
5	Розрахунок параметрів R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 й Mr_2 для профілю плоскої поверхні на основі опорних кривих профілю, отриманих при виконанні практичної роботи №3. [1,16,21-23] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
6	Розрахунок параметрів R_k , R_{pk} , R_{vk} , Mr_1 й Mr_2 для профілю сферичної поверхні на основі опорних кривих профілю, отриманих при виконанні практичної роботи №4. [1,16,21-23] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
7	Побудова кривої розподілу висот нерівностей і розрахунок параметрів R_{sk} і R_{ku} шорсткості для профілю плоскої поверхні, на основі профілограм, отриманих при виконанні практичної роботи №1. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
8	Побудова кривої розподілу висот нерівностей і розрахунок параметрів R_{sk} і R_{ku} шорсткості для профілю сферичної поверхні, на основі профілограм, отриманих при виконанні практичної роботи №2. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
9	Розрахунок параметрів P_c (щільність піків), Δq (крутизна) й λq (середня шорсткість, зважена по амплітуді), H (опірність протіканню) профілю нерівностей плоскої поверхні, на основі табличних даних, отриманих при виконанні практичної роботи №1. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
10	Розрахунок параметрів P_c (щільність піків), Δq (крутизна) й λq (середня шорсткість, зважена по амплітуді), H (опірність протіканню) профілю нерівностей сферичної поверхні, на основі табличних даних, отриманих при виконанні практичної роботи №2. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
11	Опрацювання файлів даних виміру ГСП ділянки плоскої/сферичної поверхні – 3D аналіз геометричної структури плоскої поверхні за допомогою демо-версії програми Mountains Map: відфільтрувати хвилястість поверхні, визначити амплітудні параметри шорсткості ділянки поверхні, побудувати опорну криву ділянки поверхні і для виділеного окремого профілю визначити амплітудні параметри шорсткості, побудувати опорну криву. . [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].
12	Опрацювання файлів даних виміру ГСП ділянки плоскої/сферичної поверхні – 3D аналіз геометричної структури сферичної поверхні за допомогою демо-версії програми Mountains Map: відфільтрувати хвилястість поверхні, визначити амплітудні параметри шорсткості ділянки поверхні, побудувати опорну криву ділянки поверхні і для виділеного окремого профілю визначити амплітудні параметри шорсткості, побудувати опорну криву. . [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].

5.6. Лабораторні заняття

Не передбачено.

5.7. Індивідуальні завдання

Не передбачено.

5.8. Контрольні роботи

МКР за розділами 1, 3, 4, 6.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, при підготовці до аудиторних занять	Кількість годин СРС
1	Розділ 1. Сучасний підхід до оцінки геометричної структури обробленої поверхні. Тема 1.1. Сучасний підхід до оцінки геометричної структури поверхні (ГСП), нормативна база оцінки ГСП. Залежність експлуатаційних характеристик обробленої поверхні від геометричної структури обробленої поверхні (ГСП) й стану поверхневого шару. Зв'язок ГСП обробленої поверхні, стану поверхневого шару й технологічної спадковості. Основні поняття, терміни та визначення показників оцінки ГСП обробленої поверхні. Нормативна база оцінки ГСП. Сучасні тенденції її удосконалення. [1,11,14-16] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].	4
2	Розділ 2. Оброблюваність різанням аерокосмічних сплавів і композитних матеріалів. Інструментальні матеріали. Тема 2.1. Оброблюваність сучасних авіакосмічних матеріалів світових виробників. Нові підходи до технологій високоефективного різання авіакосмічних сплавів і композиційних матеріалів. Три групи викликів для сучасних авіакосмічних матеріалів за оброблюваністю лезовим інструментом в останніх авіаційних програмах. Особливість поняття оцінки оброблюваності авіакосмічних матеріалів. Інструментальні матеріали застосовують для лезової обробки матеріалів для авіаційних двигунів, зокрема матеріалів на основі Ni. Особливість лезової обробки матеріалів на основі Ti для авіадвигунів. Особливість лезової обробки матеріалів на основі Ti для авіадвигунів. Ранжування за зносостійкістю, в'язкістю (стійкістю до крихкого руйнування) матеріалів на основі cBN, кераміки й карбідних матеріалів. Інструментальні матеріали для лезової обробки матеріалів корпусу літака, зокрема полімерних композитів. [1,9-10] Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [11].	4
3	Тема 2.2. Оброблюваність сучасних авіакосмічних матеріалів, виготовлених за національними стандартами. Загальна характеристика жароміцних, високоміцних і антикорозійних сталей і сплавів. Різниця в призначенні між теплостійкими, жаростійкими й жароміцними сталями. Високоміцні сталі. Класифікація (8 груп) важкооброблюваних сталей і сплавів за оброблюваністю. Загальна характеристика оброблюваності	4

	матеріалів кожної групи. [1-2] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1-2].	
4	Тема 2.3. Оброблюваність полімерних і металополімерних композитів. Технології механічної обробки деталей з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) і металополімерних композиційних матеріалів (МПКМ) лезовим інструментом. Актуальність, особливості процесів механічної обробки деталей з ПКМ і МПКМ. Особливості процесів точіння, свердління і фрезерування. [1-2] Актуальність процесів алмазно-абразивної обробки ПКМ і МПКМ. Проблеми, які виникають під час алмазно-абразивної обробки ПКМ. Ідеологія вибору типу алмазного інструмента для обробки ПКМ. Механізм стружкоутворення під час обробки одношаровим алмазним інструментом. Технології розрізання деталей з МПКМ в вигляді листових і плиткових матеріалів. Шліфування. Свердління отворів, зенкування. [1,12] Тема 2.4. Інструментальні матеріали. Загальна характеристика інструментальних сталей. Інструментальні вуглецеві й леговані сталі. Інструментальні леговані сталі. Швидкорізальних сталі. Металокерамічні тверді сплави. Три групи застосовуваності твердосплавного різального інструменту. [1,11] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1] і джерела [11].	4
5	Розділ 3. Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів. Тема 3.1. Технології формоутворення й обробки лопаток турбіни ГТД. Концепція наскрізної цифрової підтримки життєвого циклу лопаток турбіни. Моделеорієнтований підхід до підготовки виробництва. Цифровий двійник технологічного процесу виготовлення лопаток турбіни. Перспективні методи одержання заготовок лопаток турбін. Технологічні рішення отримання виливків лопаток з монокристалічною структурою. Алгоритм автоматизованого знаходження оптимального просторового розподілу припуску в заготовках робочих лопаток турбіни. Критерії вибору варіантів технологій з різним ступенем концентрації операцій шліфування основних типових поверхонь лопаток. Варіант технології комплексного шліфування основних типових поверхонь лопаток. Варіант технології диференційованої обробки основних типових поверхонь лопаток. Варіанти технології обробки основних типових поверхонь лопаток застосовується у крупносерійному виробництві. особливості сучасного гнучкій виробничій осередку (ГПО) на швидко переналагоджуваній елементній базі [1,9]. Завдання для СРС – вивчити відповідний розділ у [1] і джерело [9].	5
6	Тема 3.2. Методи високопродуктивного та якісного шліфування турбінних лопаток. Недоліки методу VIPER шліфування турбінних лопаток. Варіант технології шліфування "ялинкового" хвостовика турбінної лопатки. Основи глибинного шліфування профільних поверхонь деталей. Сутність процесу глибинного шліфування. Необхідна умова застосування процесу глибинного шліфування профільних поверхонь виробів. Формування профілю шліфувального інструмента в процесі шліфування. Вимоги до шліфувального інструменту для глибинного шліфування. Варіанти технології шліфування бандажних полок, лабіринтів, торців пера, їх переваги й недоліки. Сутність багатокоординатного глибинного шліфування турбінних лопаток. [1,3,9-10] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1,3] і джерела [9-10].	5

7	Тема 3.3. Типова технологія виготовлення лопаток турбіни ГТД. Головні чинники впливу на побудову технології виготовлення лопаток ротора турбіни. Метод одержання заготовок лопаток турбін. Пристрої-супутники під час обробки турбінних лопаток. Застосування методу глибинного шліфування для утворення зубів ялинкового профілю лопаток турбін по цілому. Процес високошвидкісного шліфування під час обробки турбінних лопаток. [1,3,10] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1,3] і джерела [10].	5
8	Тема 3.4. Типова технологія виготовлення лопаток компресора ГТД. Метод одержання заготовок лопаток компресорів. Три технології виготовленні профільної поверхні лопаток. Основи високошвидкісної механічної обробки деталей, високошвидкісне фрезерування лопаток компресора ГТД. Сутність процесу високошвидкісної механічної обробки деталей. Необхідна умова високошвидкісного фрезерування профільної поверхні лопаток компресора. Чотири основні вимоги до різального інструменту для високошвидкісного фрезерування лопаток компресорів. Забезпечення рівномірності припуску з боку спинки, корита й прикомлевих ділянок. Процеси викінчувальної обробки лопаток компресорів. [1,3] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,3].	5
9	Тема 3.5. Групові технології і автоматизоване виробництво лопаток. Переваги застосування групової технології виробництва лопаток ГТД. Основний принцип побудови групової технології виробництва лопаток ГТД. Сутність вертикальної і горизонтальної будови технологічної бази даних для групової технології. Три основні технологічні принципи автоматизованого виробництва лопаток ГТД. Головний ефект від переносу операцій зміни баз (від заготівельних баз лопаток до баз для механічної обробки) на п'ятиосові фрезерні центри з ЧПУ. Перехід від баз, створених для обробки проточної частини лопаток до баз для обробки хвостовиків. [1,3]	5
10	Тема 3.6. Технологічні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей ГТД. Фактори механічної обробки і експлуатації, що впливають на несучу здатність лопаток компресора. Методи механічної обробки, які застосовують для підвищення несучої здатності лопаток. Алмазне вигладжування тонкостінних валів. Вплив алмазного вигладжування на деталі, які працюють при підвищених температурах, опір контактній втомленості деталей, зносостійкість відновлених поверхонь, азотованих деталей і титанових сплавів. Алмазне вигладжування полотна дисків компресора. Ультразвукове зміцнення деталей ГТД сталевими кулями, пневмо- і гідродробоструминне зміцнення. Вібробробка лопаток компресора. Магнітно-абразивне полірування деталей ГТД. Пневмоімпульсна обробка тонкостінних валів ГТД. Зміцнення валів ГТД пневмороторним методом. Турбоабразивна обробка деталей ГТД. [1,4] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,4].	5
11	Розділ 4. Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів. Тема 4.1. Класифікація, оброблюваність керамічних матеріалів, особливості призначення між операційних припусків. Технічна кераміка (ТК), різновиди: кераміка чистих оксидів, карбідна, нітридна, пірокерами або ситали. Галузі застосування ТК. Критерії крихкості керамічних матеріалів. Оброблюваність ТК. Основний метод одержання високоточних поверхонь деталей із ТК. Загальне пошкодження	4

	керамічної деталі після шліфування, критерій загального пошкодження. Раціональний вибір режимів механічних і фізико-хімічних методів оброблення ТК. Особливості процесів шліфування керамічних деталей. Математична модель процесу шліфування керамічних деталей. Вплив схеми шліфування, режимів, характеристик, різальної здатності, зносу алмазного інструмента на дефектність обробленої поверхні. Принцип раціонального перерозподілу припуску між операціями обробки для видалення поверхневого зруйнованого шару, що залишився після чорнового шліфування. [1,5] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у джерелах [1,5].	
12	Тема 4.2. Технологія алмазної обробки прецизійних керамічних куль. Технологія, обладнання і методи алмазно-абразивної обробки деталей типу «куля» з конструкційної кераміки. Основні закономірності процесу. Показники продуктивності і якості обробки. [1,8,12] Завдання для СРС – вивчити відповідні розділи у [1,8] і джерела [12].	4
13	Розділ 5. Концепція та технології надточної механічної обробки. Тема 5.1. Концепція та загальна характеристика технологій надточної механічної обробки. Діаграма Танігучі для прогнозування розвитку досяжної точності обробки з часом. Напрацювання з технологій надточної механічної обробки, особливо надточного лезового різання, надточного шліфування, детермінованого полірування для корекції форми та надгладкого полірування і порівняння із розумінням їх принципів, методологій та застосувань. Вдосконалення та нові виклики у виробництві великоапертурних, надзвичайно точних та надгладких асферичних оптичних поверхонь, таких як EUV-літографія, вимагають обробляти поверхні дзеркал EUV до шорсткості на рівні субангстрому. [12-13] Завдання для СРС – вивчити відповідні джерела [12-13].	4
14	Тема 5.2. Типові технології надточної механічної обробки: 1) надточне різання, 2) надточне шліфування, 3) надточне полірування – може бути для корекції форми або для отримання надгладкої поверхні, та 4) нетрадиційна надточна обробка (наприклад, лазерна контурна обробка та іонно-плазмова контурна обробка). [12-13] Завдання для СРС – вивчити відповідні джерела [12-13].	4
15	Розділ 6. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів на верстатах з ЧПУ. Тема 6.1. Технологічне забезпечення шліфування калібрів станів ХПТ. Особливості шліфування профілю канавок калібрів станів холодної прокатки труб (ХПТ) на спеціальному шліфувальному верстаті з ЧПК. Математична модель процесу формотворення профілю канавки шліфуванням: методика представлення геометричних моделей робочої поверхні калібру у тривимірних цифрових масивах, алгоритм моделювання процесу шліфування. Стратегія зрізання припуску. Керуюча програма у відповідності до вибраної стратегії зрізання припуску. [1] Завдання для СРС – вивчити відповідне джерело [1].	4
16	Тема 6.2. Технологічне забезпечення шліфування оправок станів ХПТ. Особливості виготовлення деталей малої жорсткості. Шліфування оправок станів ХПТ з криволінійною твірною на круглошліфувальному верстаті. Конструкції люнетів. Математична модель процесу формотворення робочої поверхні оправки шліфувальним кругом у формі тора. Математична модель геометричної взаємодії шліфувального круга	4

	з поверхнею заготовки. Визначення зміни швидкості зрізування припуску за повздовжньою координатою. Алгоритм управління режимом різання при шліфуванні робочої поверхні оправок. [1] Завдання для СРС – вивчити відповідне джерело [1].	
17	Тема 6.3. Технологічне забезпечення шліфування гвинтової канавки гайки гвинтової передачі кочення. Особливості шліфування канавок гайок гвинтових пар кочення. Накатування гвинтів для гвинтових передач кочення. Розробка математичної моделі процесу формотворення. Особливості контролю якості під час виготовлення гвинтових передач кочення. [1] Завдання для СРС – вивчити відповідне джерело [1].	4
18	Тема 6.4. Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних імплантатів. Недоліки універсальних САМ-систем і необхідність створення спеціальної управляючої програми для виготовлення робочої поверхні протезів колінних суглобів людини. Технологічні схеми формотворення робочої поверхні протезів фрезеруванням, шліфуванням. Математичні моделі формотворення. Алгоритми автоматичного вибору стратегії формотворення. Модуль САМ систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК. [1] Завдання для СРС – вивчити відповідне джерело [1].	4

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних) регламентується: «Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/39>; «Положення про систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/121>;
- правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-дискі викладача чи в інтернеті тощо) регламентується «Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/39>, ;
- правила захисту лабораторних робіт; кожен студент особисто здає лабораторні роботи;
- правила захисту індивідуальних завдань; кожен студент особисто здає індивідуальні роботи;
- в даному кредитному модулі наявні тільки заохочувальні бали, які студент може отримати на добровільній основі виконуючі певний перелік додаткових завдань пов'язаних з тематикою кредитного модуля;
- політика дедлайнів та перескладань, регламентується «Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/32>, «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/37> ;
- політика щодо академічної доброчесності регламентується «Положення про систему запобігання академічного плагіату в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/47>; положенням «Положення про вирішення конфліктних ситуацій в КПІ ім. Ігоря Сікорського» https://osvita.kpi.ua/2020_7-170;

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом

Таблиця 8.1.

Семестр	Всього	Розподіл за семестрами та видами занять				МКР	РГР	Іспит
		Лек.	Прак.	Лаб.	СРС			
1	180	36	36	-	108	+	-	+
Всього	180	36	36	-	108	+	-	+

СИСТЕМА РЕЙТИНГОВИХ (ВАГОВИХ) БАЛІВ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

8.1. Лабораторні роботи (r1)

Не передбачено.

8.2. Модульний контроль (r2)

Модульна контрольна робота складається з чотирьох питань МКР яку проводять перед першою атестаціями та наприкінці навчального семестру. Ваговий бал МКР становить 12 балів. Максимальна кількість балів за дві модульні контрольні роботи складає: $r2 = 12 \text{ бали} \times 1 \text{ мод.контр. роботи} = 12 \text{ балів}$.

8.3. Практичні роботи (r3)

Практичні роботи складаються з 12 завдань. Ваговий бал однієї практичної роботи становить 5 балів. Максимальна кількість балів за дванадцять практичних робіт складає: $r3 = 5 \text{ бали} \times 12 \text{ практичні роботи} = 60 \text{ балів}$.

Рейтингові бали за одну практичну роботу

Таблиця 8.4

Бали	Критерій оцінювання
5,0	Зауважень до звіту нема, є відповіді на всі запитання
4,0	Несуттєві зауваження до звіту, відповіді на більшість запитань
3,0	Зауваження до отриманих результатів, відповідь на частину питань
2,0	Звіт має помилки, відповіді лише на окремі питання
1,0	Робота виконана, отримано вірні результати, але не захищено.
0,0	Робота не виконана, звіт відсутній

8.5. Штрафні та заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає тільки заохочувальні бали (табл.8.5). Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати $60 \times 0,1 = (+ 6) \text{ балів}$.

Заохочувальні бали

Таблиця 8.5

Дія	Бали
Участь у модернізації практичних робіт	плюс 2 бали
Удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни	плюс 3...5 балів
Застосування оригінального підходу при вирішенні задач	плюс 1 бал

8.6. Умови рубіжної атестації

На 8-й тиждень навчання (перша атестація) графіком передбачено виконання: 2-х практичних робіт 8 балів; МКР 12 бали. Що становить у сумі $4+4+12=20$ балів. Таким чином для отримання "задовільно" з першої рубіжної атестації студент повинен мати не менше ніж $20 \times 0,5 = 10$ балів. На 14-й тиждень навчання (друга атестація) графіком передбачено виконання: 8-х практичних робіт: $8 \text{ пр} \times 4 \text{ бали} = 32$ бали; Що становить у сумі 32 балів. Таким чином для отримання "задовільно" з другої рубіжної атестації студент повинен мати не менше ніж $32 \times 0,5 = 16$ балів.

8.7. Критерії оцінювання іспиту.

Іспит складається з 5 завдань, вага кожного питання 8 балів. Максимальна кількість балів заліку успішності становить 40 балів.

Критерій екзаменаційного оцінювання визначається як сума якості відповідей на кожне завдання білета за таблицею 8.6.

Кількість балів за відповідні питання іспиту

Критерії оцінювання питань іспиту

Таблиця 8.6

Бали	Критерій оцінювання
8,0	Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження та неточності
7,6	Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення
6,4	Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, відповідь на більшість питань, окремі недоліки
5,6	Достатня відповідь (не менше 60% інформації) є зауваження, відповідь тільки на частину питань
4,8	Задовільна відповідь (не менше 60% інформації), суттєві помилки, відповідь на поодинокі питання, не може пояснити результати
0,0	Відповідь не вірна або менше 60% інформації, або відсутня

8.8. Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (rd):

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: $R_c = \sum_i r_i$ де r - рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни (табл. 8.2-8.6). $R_c = 48\text{пр} + 12\text{мкр} = 60$ балів.

Екзаменаційна складова RE шкали дорівнює (табл. 8.7): $RE = 40$ балів.

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає $RD = R_c + RE = 60 + 40 = 100$ балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою. Таблиця 8.7

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)

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

Розділ Сучасний підхід до оцінки геометричної структури обробленої поверхні

- Що таке геометрична структура обробленої поверхні згідно ISO 4287:1997? топографія поверхні? Від чого вони залежать?
- Скільки класів нерегулярності поверхні згідно ISO 4287:1997 існує і які?
- Які традиційні параметри й функції використовують для 2D аналізу шорсткості поверхні? Навести приклади основних.
- Показниками чого є параметри Ra і Rq ? параметр Rz ? В чому полягає їх відмінність?
- Показниками чого є параметри Rt , Rp і Rv ?
- Що таке відносна опорна довжина профілю обробленої поверхні? Як вона розраховується?
- Що таке опорна крива (крива Аббота-Фаерстона)? Які параметри її характеризують? Як вони розраховуються?
- Що таке крива розподілу висот нерівностей? Про що вона якісно свідчить?
- Показниками чого є параметри Rsk і Rku ? Який зв'язок між ними і кривою розподілу висот нерівностей поверхні?

Розділ Оброблюваність різанням аерокосмічних сплавів і композитних матеріалів. Інструментальні матеріали

- З чим пов'язано безперервне удосконалення сучасних авіакосмічних сплавів і композиційних матеріалів? На які три групи поділяються сучасні авіакосмічні матеріали за оброблюваністю лезовим інструментом?
- Які нещодавно розроблені сплави алюмінію, титану (перерахувати за складом основних хімічних елементів) використовуються в останніх авіаційних програмах? Які матеріали є важливими для виготовлення авіадвигуна?
- В чому полягають нові підходи до технологій вискоефективного різання авіакосмічних сплавів і композиційних матеріалів? для яких саме матеріалів?
- В чому полягає особливість поняття оцінки оброблюваності авіакосмічних матеріалів? Які зворотні зв'язки мають місце при взаємодії деталі і інструменту за механічної обробки авіакосмічних матеріалів?
- Які інструментальні матеріали застосовують для лезової обробки матеріалів для авіаційних двигунів, зокрема матеріалів на основі Ni? В чому полягає основна відмінність PVD і CVD покриттів, яку функцію вони виконують?
- В чому полягає особливість лезової обробки матеріалів на основі Ti для авіадвигунів? основна відмінність PCBN, CBN і PCD пластин, в яких випадках лезової обробки авіакосмічних матеріалів вони використовуються?
- Які інструментальні матеріали застосовують для лезової обробки матеріалів для корпусу літака, зокрема полімерних композитів?
- В чому полягає різниця в призначенні між теплостійкими, жаростійкими й жароміцними сталями? Які сталі вважаються високоміцними?
- Які сталі вважаються високоміцними? де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?

- На скільки груп поділені важкооброблювані сталі і сплави за оброблюваністю і за якими критеріями?
- Які сталі віднесені до першої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сталі віднесені до другої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сталі віднесені до третьої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сталі віднесені до четвертої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сплави віднесені до п'ятої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сплави віднесені до шостої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сплави віднесені до сьомої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- Які сплави віднесені до восьмої групи за оброблюваністю (навести вміст основних хімічних елементів), де використовуються, у скільки разів знижується швидкість різання у порівнянні зі сталлю 45?
- В чому полягають особливості різання лезовим інструментом авіакосмічних сталей і сплавів?
- В чому полягають особливості процесу різання ПКМ, МПКМ?
- Особливості механіки руйнування ПКМ, МПКМ в процесі різання.
- Порівняти оброблюваність вугле- і склопластиків при точінні. В чому різниця?
- Які проблеми виникають під час алмазно-абразивної обробки МПКМ?
- В чому полягає ідеологія вибору типу алмазного інструмента для обробки МПКМ?
- Алмазний інструмент для шліфування деталей з МПКМ.
- Алмазний інструмент для розрізування (різання) листів і плит з МПКМ.
- Алмазний інструмент для свердління отворів у деталях з МПКМ.
- На скільки груп поділяються інструментальні матеріали (навести їх назви і коротку характеристику)?
- За рахунок чого можна суттєво збільшити твердість в незагартованому стані і одночасно теплостійкість (червоностійкість) вуглецевих інструментальних сталей?
- В чому полягає головна позитивна відмінність легованих інструментальних сталей від вуглецевих за поведінкою при термічній обробці?
- В чому полягає основна перевага металокерамічних твердих сплавів над інструментальними й швидкорізальними сталями? На скільки груп і за якою ознакою вони поділяються?

- На скільки груп і за яким критерієм поділяються металокерамічні тверді сплави в залежності від умов різання? З чим пов'язана розбивка на групи й підгрупи застосування?
- Які металокерамічні тверді сплави віднесені до першої групи? За якими характеристиками розрізняються марки сплавів цієї групи?
- Якими є світові тенденції застосування безвольфрамових твердих сплавів? На якій основі виробляють БВТС головним чином? В чому є переваги БВТС над вольфрамовмісними твердими сплавами?

Розділ Типові технології виготовлення лопаток газотурбінних двигунів

- Назвати й пояснити п'ять специфічних особливостей виготовлення лопаток ГТД, які впливають на побудову технології їх виготовлення.
- Назвати й пояснити три варіанти технологій шліфування лопаток турбін ГТД.
- В чому полягає концепція наскрізної цифрової підтримки життєвого циклу лопаток турбіни?
- В чому суть моделеорієнтованого підходу до підготовки виробництва лопаток?
- Яку задачу вирішують розробкою і використанням цифрового двійника технологічного процесу виготовлення робочих лопаток турбіни? Його ключові моменти?
- Якими технологічними рішеннями отримують поздовжньо-орієнтовану й монокристалічну структуру виливків лопаток?
- В чому полягає алгоритм автоматизованого визначення розподілу припуску в заготовках лопаток?
- Назвати й пояснити три критерії оптимальності в автоматизованому визначенні розподілу припуску в заготовках лопаток ГТД.
- Назвати й пояснити шість необхідних і достатніх вимог до шліфувального центру для високопродуктивного та якісного шліфування лопаток ГТД.
- Назвати й пояснити два найбільш прийнятні методи шліфування профільних поверхонь турбінних лопаток.
- В чому є головна перевага процесу глибинного шліфування над традиційним? Дві граничні умови його здійснення.
- Назвати й пояснити необхідні умови застосування методу профільного глибинного шліфування, зокрема хвостовиків лопаток турбін.
- Які необхідні умови застосування процесу глибинного шліфування профільних поверхонь виробів і чому?
- Шліфування яким методом: копіювання, обкату чи іншим – використовують для утворення ялинкового профілю лопаток? Де іще використовують цей метод?
- Сутність багатокоординатного глибинного шліфування лопаток турбін. Яка необхідна умова його застосування?
- Сутність VIPER шліфування стосовно профільних поверхонь лопаток ГТД, переваги, недоліки.
- Структура абразивного шліфувального круга – це співвідношення яких складових? Що нормує градація кругів за структурою? при збільшенні структури на один номер зменшується вміст чого і на скільки?
- Твердість абразивного шліфувального круга, градація кругів за твердістю по групах, у межах групи, що і наскільки змінюється для зміни твердості на 1 ступінь.
- В чому полягає різниця в умовах експлуатації лопаток турбін і компресорів, основна різниця в їх конструкції, різниця у розмірах?

- Які основні чинники беруть до уваги під час побудови технології виготовлення лопаток ротора турбіни?
- Назвати метод одержання заготовок лопаток турбін, виходячи з яких причин застосовують саме цей метод?
- В яких випадках при обробленні лопаток турбін застосовують пристрої-супутники?
- Порівняти переваги й недоліки одно- і двосторонньої схеми глибинного шліфування хвостовиків лопаток турбін.
- З яких міркувань призначаються режими різання глибинного шліфування хвостовиків лопаток?
- Чи застосовують процес високошвидкісного шліфування при обробленні лопаток турбін і за яких умов? На яких швидкостях різання?
- Навіщо застосовують гідроабразивне оброблення лопаток турбін і за якою процедурою?
- За переміщенням у просторі яких ліній для утворення поверхонь спинки й корита пера лопатки компресора класифікують останні? Який максимальний кут розвороту перетинів профілю пера?
- Який основний метод виготовлення заготовок лопаток компресорів? Які два його різновиди застосовують і чому?
- У яких випадках застосовують ізотермічне штампування і наступну термофіксацію для виготовлення лопаток компресора? Яка точність профілю пера лопатки?
- Які три технології застосовуються при виготовленні поверхні пера лопаток компресорів?
- Чому в технології виготовлення лопаток компресорів важливе значення має операція виготовлення технологічних баз від штампувальних баз лопатки?
- Для яких розмірів лопаток метод ЕХО є директивним, і яке технологічне оброблення застосовується для лопаток інших розмірів?
- На яких відстанях між електродами й пером лопатки з боку корита чи спинки на аноді копіюється профіль інструмента під час ЕХО?
- Які наслідки недотримання оптимального діапазону кута одночасного нахилу електродів-інструментів до осі лопатки під час ЕХО у бік зменшення і навпаки?
- Які два недоліки ЕХО виправляються на наступних операціях?
- В чому полягає необхідна умова, на якій побудовано алгоритм керування високошвидкісним фрезеруванням поверхні пера лопатки компресора?
- У яких випадках застосовується принцип забезпечення рівномірності припуску з боку спинки, корита й прикомлевих ділянок лопаток компресора?
- Основні вимоги до різального інструменту для високошвидкісного фрезерування лопаток компресорів.
- В чому полягає основна ідея застосування пристрою для виготовлення технологічних баз на багатоцільовому верстаті, оснащеному вимірювальною головкою фірми Zeiss?
- В чому полягає різниця двох варіантів механічної обробки пера лопаток компресорів? який технологічний метод і скількох координатне оброблення використовується?
- Яка технологія використовується для механічної обробки хвостовиків лопаток компресора в умовах крупносерійного і масового виробництва? В умовах дрібносерійного й багатономенклатурного виробництва?
- Навіщо застосовують технологічні процеси викінчувального оброблення лопаток компресорів і які саме?
- В яких випадках і навіщо застосовують операції шліфування проточної частини лопаток?

- Навіщо застосовують операції розмірного полірування проточної частини лопаток і на якому обладнанні?
- Який технологічний метод забезпечує ефект безрозмірного полірування лопаток і чому?
- Який технологічний метод застосовують на операції зміцнення лопаток компресора і які два завдання він вирішує?
- Які спеціальні операції передбачені для підвищення експлуатаційних властивостей лопаток компресора?
- Яка частина лопатки приварюється на операції зварювання і навіщо?
- Сформулювати основний принцип побудови групової технології виробництва лопаток ГТД.
- Які переваги дозволяє отримати побудова вертикальної і горизонтальної структури технологічної бази даних для групової технології?
- В чому полягає головний ефект від переносу операцій зміни баз (від заготівельних баз лопаток до баз для механічної обробки) на п'ятивісьові фрезерні центри з ЧПУ?
- Яким чином здійснюють перехід від баз, створених для обробки проточної частини лопаток до баз для обробки хвостовиків?
- Три основні технологічні принципи автоматизованого виробництва лопаток ГТД.
- Які фактори механічної обробки і експлуатації впливають на несучу здатність лопаток компресора? Чим оцінюється ступінь їх впливу? Які методи механічної обробки застосовують для підвищення несучої здатності лопаток? В чому полягає їх специфічність?
- Пояснити механізм виникнення залишкових напружень і зміцнення металу після поверхневого пластичного деформування деталей ГТД.
- З якою метою застосовують технології алмазного вигладжування деталей ГТД?
- В чому полягають технологічні особливості алмазного вигладжування тонкостінних валів?
- Що дає алмазне вигладжування деталей, які працюють при підвищених температурах?
- В чому полягає вплив алмазного вигладжування на опір контактній втомленості деталей?
- В чому полягає вплив алмазного вигладжування на зносостійкість відновлених поверхонь, азотованих деталей і титанових сплавів?
- В чому полягає особливість алмазного вигладжування полотна дисків компресора?
- За якої схеми здійснюють ультразвукове зміцнення деталей ГТД сталевими кульками? Його переваги?
- Що дає пневмодробоструминне зміцнення деталей ГТД? схема обробки, переваги?
- Що дає турбоабразивна обробка деталей ГТД? схема обробки дисків компресора? схема обробки звареного барабану ротора компресора?
- Що дає віброобробка лопаток компресора? її різновиди, переваги?
- Що дає гідродробоструминне зміцнення деталей ГТД? схема обробки, переваги?
- Що дає магнітно-абразивне полірування деталей ГТД? схема обробки, переваги?
- Що дає пневмоімпульсна обробка тонкостінних валів ГТД? схема обробки, переваги?
- В чому суть зміцнення валів ГТД пневмороторним методом? Принципова схема обробки?
- Що дає абразивне полірування дисків ГТД на сизалевих кругах? його переваги?

Розділ Технології механічної обробки деталей з керамічних матеріалів

- Різновиди технічної кераміки, галузі застосування. Основний метод її механічної обробки, переваги, недоліки.

- Карбідна технічна кераміка, галузі застосування. Основний метод її механічної обробки, переваги, недоліки.
- Оксидна технічна кераміка, різновиди, галузі застосування. Основний метод її механічної обробки, переваги, недоліки.
- Нітридна технічна кераміка, галузі застосування. Основний метод її механічної обробки, переваги, недоліки.
- Оброблюваність виробів з ТК: в чому проявляється вплив фізико-механічних властивостей? Які процеси відбуваються між алмазним зерном і керамічним матеріалом при шліфуванні?
- Оцінка дефектності матеріалу й виникнення дефектів у процесі шліфування деталей із ТК. Які фактори впливають на процес шліфування?
- Основний метод одержання високоточних поверхонь деталей із ТК, його переваги, недоліки.
- Основні характеристики шліфувальних кругів з НТМ (алмазних, з кубічного нітриду бору), кількісні показники.
- Які чинники необхідно враховувати під час вибору розміру шліфувальних кругів для шліфування керамічних матеріалів?
- Як необхідно змінювати окружну швидкість шліфування для зменшення зношування м'яких кругів, а також поліпшення шорсткості оброблюваної поверхні і чому?
- Як впливають на процес шліфування ТК концентрація алмазів, зернистість, зв'язувальне шліфувальних кругів?
- Пояснити розрахунок міжопераційних припусків під час механічної обробки виробів з керамічних матеріалів.
- Схема шліфування деталі типу "куля" з верхнім розташуванням алмазного круга: яка тенденція змінювання профілю круга превалює під час його зношування?
- Схема шліфування деталі типу "куля" з верхнім розташуванням алмазного круга: яка траєкторія подачі куль – дотична зсередини до зовнішнього краю робочої поверхні круга, з центром посередині, дотичною ззовні до внутрішнього краю робочої поверхні – сприяє вирівнюванню зносу круга?
- Схема шліфування деталі типу "куля" з нижнім розташуванням алмазного круга, переваги, недоліки.
- В чому полягає основна відмінність схеми доведення виробу типу "куля" з ТК у порівнянні із такою для сталевих куль?
- Схема алмазного доведення деталі типу "куля" у напрямних канавках зі змінною кривизною. В чому полягає її перевага?

Розділ Концепція та технології надточної механічної обробки

- Визначення технології надточної механічної обробки на наш час. Яка фізична сутність таких процесів обробки? Назвати типові процеси надточної механічної обробки.
- Про що свідчить діаграма Танігучі з прогнозування досяжної точності обробки з часом? Який рівень точності у наш час для різних методів надточної обробки?
- Дати коротку характеристику типовим процесам надточної механічної обробки.
- Назвати й пояснити сутність трьох технологій надточного лезового різання, їх переваги, недоліки.
- Технологія хіміко-механічного шліфування. Порівняти з хіміко-механічним поліруванням.
- Які дві умови необхідні для здійснення пластичного режиму точіння крихких матеріалів?

- Нарізання мікроструктур на крихких матеріалах лезвійним різанням. Назвати три або чотири різновиди такої обробки.
- Суперабразивні шліфувальні круги. Завдяки чому їх застосовують для надточної обробки?
- Необхідна умова шліфування твердих і крихких матеріалів на пластичному режимі. Як розрахувати критичну глибину різання при шліфуванні? Інші різновиди надточного шліфування.
- Методика правки «в процесі» у надточному шліфуванні. В чому суть, яку проблему вирішує?
- Мікроструктурне шліфування. В чому суть, для чого використовується?
- Різновиди спеціальної кінематики надточного шліфування. Що вони дають? Переваги й недоліки.
- Різновиди коректувального й супергладкого полірування. Їх коротка характеристика.
- Полірування жорстким конформним полірувальником. В чому суть, для чого використовується?
- Магнітореологічна обробка. Пояснити принцип дії, переваги.
- Формоутворення іонним бомбардуванням. Пояснити принцип дії, переваги.
- В чому суть вимірювання на верстаті і компенсації похибок форми?
- Які завдання спонукають подальші дослідження й розвиток технологій надточної механічної обробки?

Розділ Технологічне забезпечення механічного оброблення складно-профільних поверхонь виробів на верстатах з ЧПУ

- Яку задачу вирішують технологічною підготовкою шліфування поверхні калібру стану ХПТ?
- Яку задачу вирішують технологічною підготовкою шліфування оправки стану ХПТ?
- Яку задачу вирішують технологічною підготовкою шліфування поверхні штучного колінного суглоба людини?
- Яку задачу вирішують технологічною підготовкою шліфування поверхні внутрішніх гвинтових поверхонь гайок кулькової гвинтової пари?

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професор каф. Технології машинобудування, д.т.н., проф. Воронцов Б.С.

Ухвалено кафедрою Технології машинобудування (протокол №17 від 18.06.2025)

Погоджено Методичною комісією НН ММІ¹ (протокол №11 від 27.06.2025)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.