



Проектування технологічних процесів у виробництві

Робоча програма навчальної дисципліни (Силлабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна, змішана)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс / осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 год/ 5 кредитів ЄКТС: лекції – 30 год, практичні – 14, самостійна робота – 106 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i>Згідно www.roz.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Головка Л.Ф., д.т.н., професор, leongolovko@gmail.com +380 679533218 Котляров В.П., д.т.н., професор, kotlyarovv@ukr.net , +380 99 385 6117 Практичні: Блощицин М.С., к.т.н., доцент, m.bloshchysyn@gmail.com +380 950840784 Козирев О.С., старший викладач akozyrev@ukr.net +380 68 071 0051
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o

Програма навчальної дисципліни

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

Перша частина освітнього компоненту «Проектування технологічних процесів у виробництві» подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки реалізації технологічних операцій лазерної поверхневої обробки та лазерної розмірної обробки, що пов'язано із особливостями обладнання, інструменту та їх результатів. Особливість технологічних операцій лазерної обробки полягає в тому, що фахівець не тільки має справу з не матеріальним, часто-густо не видимим інструментом у вигляді згустку потужної електромагнітної енергії, а вимушений його створювати лише під час виконання операції, що ускладнює її проектування, але дає можливість корегувати характеристики інструменту, відновлюючи вихідні властивості або цілеспрямовано видозмінювати їх, пристосовуючись до поточного результату обробки. Не матеріальність інструменту дає можливість створювати операції, в яких застосовується новий комбінований або гібридний інструмент за можливостями недосяжний не тільки в механічній обробці різанням, а й для інших, нетрадиційних методів, які відносяться до класу нетрадиційних методів обробки.

Навчальна дисципліна **“Проектування технологічних процесів у виробництві”** входить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки, тобто спеціальних, які забезпечують підготовку за напрямом «131 Прикладна механіка», освітню програму «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» «Лазерна техніка та процеси фізико-технічної обробки матеріалів». Він є важливою ланкою єдиної логічної системи фундаментальної, загально-інженерної і спеціальної підготовки фахівців в галузі обробки матеріалів для машинобудування. Подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки побудови технологічних операцій фізико-технічної обробки матеріалів, що пов'язано із особливостями інструменту та їх результатів.

Предмет навчальної дисципліни: процеси лазерної поверхневої обробки, як технологічна система, основу якої становлять фізико-хімічні процеси, що відбуваються в поверхневому шарі матеріалу при дії лазерного випромінення. Встановлення зв'язків між параметрами лазерного випромінення, властивостями матеріалу, що обробляється, і умовами їх взаємодії, обумовлює можливість управління термічними процесами і, як наслідок, результатами обробки (глибиною зміцненого шару, його мікроструктурою, твердістю, зносостійкістю і т. ін.).

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей у відповідності до ОПП, а саме:

Загальні компетентності (ЗК)	
ЗК.01	Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково прикладні проблеми.
ЗК.02	Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
ЗК.03	Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
Фахові компетентності спеціальності (ФК)	
ФК 1	Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.
ФК 2	Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.
ФК 8	Здатність розробляти спеціальні способи та засоби лазерної розмірної та поверхневої обробки.
ФК 9	Здатність застосування нових сучасних методів розроблення технологічних процесів для виготовлення виробів та об'єктів з визначенням раціональних технологічних режимів роботи устаткування.
ФК 10	Здатність порівнювати між собою альтернативні варіанти конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання та споріднених технологій, процесів лазерної розмірної та поверхневої обробки для виявлення найбільш технологічної варіанту з урахуванням наявного чи перспективного виробничого середовища, засобів технологічного спорядження, кадрового та іншого ресурсного забезпечення.
ФК 11	Здатність до обґрунтування та доведення власних науково-технічних рішень і конструктивно-технологічних розв'язків виробничих завдань та проблем.
ФК 12	Здатність визначати показники рівня технологічності конструкцій, застосовувати методи техніко-економічного аналізу параметрів технологічних процесів і надавати оцінку технологічності конструкції.

ФК 13	Здатність визначати зміст та проектувати ефективні технологічні процеси за результатами застосування сучасних методів розроблення і оптимізації технологічного підготовки виробництва з урахуванням його конкурентоздатності та екологічності.
ФК 20	Здатність створювати інноваційні рішення технічних проблем в галузі зварювання, лазерних та споріднених технологій.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

РН 1	Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.
РН 2	Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.
РН 3	Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.
РН 4	Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема, за умов неповної та суперечливої інформації;
РН 11	Розробляти управлінські та/або технологічні рішення за невизначених умов та вимог, оцінювати і порівнювати альтернативи, аналізувати ризики, прогнозувати можливі наслідки.
РН 14	Використовувати спеціальні способи та засоби лазерної обробки для досягнення оптимальних результатів
РН 15	Використовувати комплексний підхід до технічного підготовки виробництва конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій шляхом інтеграції призначення і змісту конструкторського, технологічного, організаційно-економічного підготовки виробництва
РН 16	Застосовувати знання основних положень і правил розроблення обґрунтувань для технологічної документації щодо конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій.
РН 17	Застосовувати сучасні методичні засади для визначення технологічності конструкцій та шляхів раціоналізації технологічних процесів зварювального виробництва і процесів розмірної та поверхневої лазерної обробки.
РН 18	Використовувати знання основ визначення техніко-економічної оцінки варіантів технологічних процесів виробництва для підвищення його ефективності.

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

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх та паралельних курсах: **«Інтелектуальна власність та патентознавство»**; **«Комп'ютерне моделювання в наукоємному машинобудуванні»**; **«Технологія лазерної розмірної обробки»**; **«Інноваційні технології в машинобудуванні»**; **«Проектування та експлуатація лазерного технологічного обладнання»**; **Системна інженерія та управління проектами в наукоємному машинобудуванні.**

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступних курсів за навчальними планами підготовки магістрів: **«Автоматизовані механічні системи з фізично різнорідним керуванням»**; **«Статистичні і ймовірнісні методи в наукових**

дослідженнях»; «Наукова робота за темою магістерської дисертації. Частина 1. Основи наукових досліджень»; «Наукова робота за темою магістерської дисертації. Частина 2. Наукова робота за темою магістерської дисертації»

3.Зміст освітнього компоненту

Розділ 1. Модифікування поверхневих шарів матеріалів лазерним опроміненням.

Тема 1.1. Особливості структурно-фазових перетворень у залізо - вуглецевих сплавах

Тема 1.2. Структурно-фазові перетворення в кольорових сплавах.

Тема 1.3. Лазерне гартування із рідинної фази, аморфізація.

Розділ 2. Лазерне поверхнєве мікролегування, наплавлення та спікання.

Тема 2.1. Лазерне поверхнєве мікролегування

Тема 2.2 Лазерне наплавлення та спікання

Розділ 3. Вплив лазерної обробки на якісні та експлуатаційні характеристики поверхневих шарів матеріалів.

Тема 3.1. Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення

Розділ 4. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки.

Тема 4.1. Технологічні схеми лазерної поверхневої обробки

Тема 4.2. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки

Розділ 5. Технологічне обладнання для лазерної поверхневої обробки.

Тема 5.1. Принципи організації лазерних технологічних комплексів для лазерної поверхневої обробки.

Організація виробничих діляниць лазерної поверхневої обробки

Розділ 6. Технічне оснащення технологічних операцій (ТО) лазерної розмірної обробки

Тема 6.1. Вибір типу, складу, компонування лазерної технологічної установки (ЛТУ) Порівняння технологічних та техніко-економічних показників, виявлення переваг та недоліків лазерної розмірної обробки (ЛРО)

Тема 6.2. Урахування характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки при обранні випромінювача ЛТУ

Тема 6.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ

Тема 6.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ

Розділ 7. Методи налаштування лазерної технологічної установки:

Тема 7.1. Юстирування резонатора лазера.

Тема 7.2. Центрування оптичної системи ЛТУ.

Тема 7.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя

Розділ 8. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО

Тема 8.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:

Тема 8.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

Тема 8.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

Тема 8.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО

Розділ 9. Точність розмірних результатів ТО ЛРО

Тема 9.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО

Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Формування та перетворення каустики пучка випромінювання..

Тема 9.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем.

Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції

4.Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

(<https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o>)

1. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненко // Монографія, К.: Вістка, 2009. - 296 с.
2. Комп'ютерне моделювання в лазерних технологіях / Л.Ф. Головка, С.О.Лук'яненко, І.Ю. Михайлова, В.А. Третяк // Монографія, К.: ВПП «Текст». 2015. - 236 с.
3. Котляров В.П. Технологія лазерної обробки (операції розмірної обробки). Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308 с. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ»
4. Котляров В.П. Лазерна розмірна обробка. [Електронний ресурс]: електронний дидактичний демонстраційний матеріал супроводження дисципліни / В. П. Котляров ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 7,50 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – Назва з екрана. – Доступ: НТБ НТУУ «КПІ».: library.ntu-kpi.kiev.ua або : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/119927>
5. Котляров В.П., Киричок П.О. Лазерна технологія в поліграфії. / В.П. Котляров, П.О. Киричок // Київ: ВПК НТУУ «КПІ», - 2012.- 324 с. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ»; CAMPUS
6. Котляров В.П. Інженерія оптимізації температурних джерел в лазерній прецизійній обробці / В.П. Котляров // Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2023.- №2 – том 7; Доступ: CAMPUS:

Додаткова

1. Виготовлення біметалів з використанням ливарного процесу і лазерної обробки / Л.Ф. Головка, С.С. Салій, В.В. Романенко, М.С. Блощин, О.Д. Кагляк, О.А. Савченко, - Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022.- 208с.
2. Головка Л.Ф., Блощин М.С. електронна версія конспекту лекцій до дисципліни «Технологія лазерної поверхневої обробки»; гриф механіко-машинобудівного інституту; протокол Вченої Ради ММІ № 2; дата отримання грифу 25.09.2017.
3. Головка Л.Ф., Блощин М.С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу «Технологія лазерної поверхневої обробки»; гриф механіко-машинобудівного інституту; протокол Вченої Ради ММІ № 11; дата отримання грифу 26.06.2017.
4. Головка Л.Ф., Блощин М.С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу «Процеси лазерної поверхневої обробки»; гриф механіко-машинобудівного інституту; протокол Вченої Ради ММІ № 11; дата отримання грифу 26.06.2017.
5. Котляров В.П., Сінюченко В.В. Засоби надання гнучкості інструменту з лазерного променя. Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2018.-№3. С. 70-83
6. Kotlyarov V.P., Kiyaschenko O.M. Simplified Methodology for the Design of Technological providing for Operations of Laser Treatment. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2019, Vol. 55, No. 6, pp. 692 - 717. © Allerton Press, Inc., 2019.
7. Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України . Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2017.-№1. С. 94-105

8. Котляров В.П., Дубнюк В.Л. Ворончак Т.П. Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування якісних показників операцій лазерної обробки. - Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2015.- №.3 (75) С. 104-114

Навчальний контент

5 Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В межах вивчення кредитного модуля впродовж семестру заплановано проведення лекційних та практичних занять, а також навчальним планом передбачено виконання курсової роботи як окремого кредитного модуля.

Під час вивчення матеріалу застосовуються такі основні методи колективного та індивідуального активного навчання: проблемно-пошуковий, пояснювально-ілюстративний, репродуктивний, інтерактивний, практичний та дослідницький під час проведення лекційних та практичних занять, а також метод самостійної роботи.

Означені методи використовуються в контексті застосування таких навчальних технологій:

- 1) особистісно-орієнтовані технології, засновані на активних формах і методах навчання: колективні дискусії, інтерактивне спілкування тощо.
- 2) інформаційно-комунікаційні технології, що забезпечують проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активізацію самостійної роботи студентів, доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей (онлайн-лекції, онлайн-лабораторні під час змішаного або дистанційного навчання).

5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема 1.1. Особливості структурно-фазових перетворень у залізо - вуглецевих сплавах. Структурно-фазові перетворення у залізо-вуглецевих сплавах при лазерному нагріванні – охолодженні. Кристалева побудова. Література: основна [1], стор. 147-157; 168-170; [2], стор. 3-35; додаткова – [4], стор. 70-77, 92-96. Завдання на СРС: додаток 1 Література: базова [3] Тема 1.2. Структурно-фазові перетворення в у кольорових сплавах. Структурно-фазові перетворення в у кольорових сплавах на основі алюмінію, основі міді та титану Література: основна - [1], стор. 157-162; [2], стор. 76-82; додаткова [5], стор. 38-56. Завдання на СРС: додаток 1 Література: додаткова [1]
2	Тема 1.3. Лазерне гартування із рідинної фази, аморфізація. Лазерне гартування із рідинної фази. Література: основна [1], стор. 162-168; [2], стор. 82. Завдання на СРС: додаток 1 Література: додаткова [2] Тема 2.1. Лазерне поверхневе мікро легування. Лазерне поверхневе мікро легування. Лазерне наплавлення та спікання. Література: (базова) основна - [1], стор. 170-181; додаткова [6], стор. 105-107, 137-139, 145-146, 166-168. Завдання на СРС: додаток 1 Література: базова [3]

3	Тема 2.2 Лазерне наплавлення та спікання Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення. Триботехнічні характеристики зміцнених вуглецевих, легованих та високолегованих сталей після лазерної обробки, основні фактори та параметри Література: основна [1], стор. 185-220; [2], стор. 72-79.83-85 Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова [4] Тема 3.1. Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення Фізико-механічні властивості наплавлених покриттів: зносостійкість, залишкові напруги, міцність зчеплення покриттів з основою. Література: основна [1], стор 220-227; [2], стор. 74-79. Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова [3]
4	Тема 4.1. Технологічні схеми лазерної поверхневої обробки. Лазерне термічне зміцнення, термоциклювання, відпуск, відпалювання. Методика вибору режимів лазерної обробки та побудова технологічних процесів: лазерного наплавлення, спікання та нанесення покриттів Література: основна - [1], стор. 243-249; [2], стор. 53-56; додаткова [6], стор. 116-124. Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова [3] Тема 4.2. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки Процеси лазерного зміцнення, легування та відновлення деталей різного призначення. Застосування лазерного випромінювання для пошарового вирощування трьохвимірних виробів, спікання композиційних матеріалів. Література: основна – [1], стор. 250-258.258-267. Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова [2], [4]
5	Тема 5.1. Принципи організації лазерних технологічних комплексів для лазерної поверхневої обробки. Організація виробничих ділянок лазерної поверхневої обробки Література: основна – [1], стор. 258-267. Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова [2] Тема 6.1 Вибір типу, складу, компоновання лазерної технологічної установки (ЛТУ) Структурна схема ЛТУ, призначення та склад випромінювача та супутніх вузлів, технологічного блоку та технологічного модулю. Розширення можливостей ЛТУ універсального призначення. Література базова: [1] стор. 152-157; [2] През. 2, с. № 3-4;. Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова– [1], [2]
6	Тема 6.2. Урахування характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки при обранні випромінювача ЛТУ Література базова: - [1] стор. 147-151; [2] През. 1, с. № 15-28; [3] стор. 134 -146. Завдання на СРС: додаток 1 Література додаткова: [3] Тема 6.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ Література базова: [1] стор. 152-157; 168-170; [2] През. 2, с. № 3-24; Завдання на СРС: додаток 1 Література:додаткова – [1], [3]

7	Тема 6.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ Адаптивна організація технологічної операції. Послідовність переходів у технологічній операції з різними формами адаптивної організації. Література: базова - [1] стор. 158-162; 80 82; [2] През. 2 сл. № 3-10. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [3] Тема 6.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ Елементна база ЛТУ з адаптивною організацією операції. Схеми пристроїв з пневматичними засобами вимірювання поточного розміру обробки та керуванням умовами опромінювання заготовки. Література: базова - [1] стор. 162-168; [2] През. 3, сл. № 11-44. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [1], [3]
8	Тема 7.1. Юстирування резонатора лазера Юстирування резонатора лазера. Додаткова апаратура, методика та порядок дій. Центрування оптичної системи. Література: базова - [2] През. 4, сл. № 3-6; <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> Тема 7.2. Центрування оптичної системи ЛТУ Методи впливу на параметри пучка лазерного випромінювання, які передбачено у сучасного технологічного обладнання. Особливості та недоліки. Оптичні системи ЛТУ для відносного позиціювання пучка випромінювання та заготовки. Література: базова - [1] стор. 170-176; [2] През. 4, сл. № 7-16; <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова.</i>
9	Тема 7.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя Методи параметричного впливу на характеристики лазерного променя. Керування розміром пучка випромінювання. Література: базова [1] стор. 176-181; [2], През. 4 сл. № 7-27 <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [1] стор. 38-56. Тема 8.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин: Аналіз структури ТОС для визначення напрямків вдосконалення технологічної операції ЛРО: - Засоби стабілізації поглинання випромінювання поверхнею заготовки. - Підвищення ефективності операцій. Література: базова - [3] <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D

10	Тема 8.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин Вдосконалення технологічних засобів та оснащення операцій: - Методи підвищення якості результатів лазерної розмірної обробки. - Режимне вдосконалення процесу розмірної обробки та різки. Література: базова - [1] стор. 203-220; [2] През. 6, сл. № 4-20. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [2] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D Тема 8.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів Вдосконалення методів відносного позиціонування пучка випромінювання та заготовки: Метод подвійного зображення Література: базова - [1] стор. 221-227; [2] През №6, сл. № 21-34. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [7] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D
11	Тема 8.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО Автоматизація операцій лазерної обробки: - Налагодження положення лінзи та заготовки, - Автоматизація контрольних операцій. Література: базова [1] стор. 228-239; [2] През №7, сл. № 5-46. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [1, 3] патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D Тема 9.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО Поняття точності та похибки розмірів обробки. Сумарна похибка технологічної операції ЛРО. Її класифікація за учасниками ТОС та елементарними їх параметрами. Числові характеристики показника точності. Література: базова - [1] стор. 243-245; [2] През. №8, сл. № 3-8; <i>додаткова</i> [3] <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова</i> [4]
12	Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Особливості показників точності елементів, які одержано лазерною обробкою. Обробка на “налагоджених” станках та з адаптивною організацією операції. Розрахунково-аналітичний метод прогнозного визначення рівня точності. Моделювання процесу обробки для визначення сумарної похибки обробки. Представлення ТОС у вигляді системи, що перетворює. Література: базова – [1] стор. 244-249, [2] През. №8, сл. № 9-37. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [4] Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО 9.2.1. Джерела нестабільностей інструмента – пучка лазерного випромінювання. Література: базова – [1] стор. 249-258, [2] През. №8, сл. № 12-23 <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [4]
13	Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО 9.2.2. Похибки технологічних прийомів. Література: базова – [1], стор. 258-266; [2], През. №3, сл. № 24-36, [4] <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 9.2.3. Нестабільність заготівки. Література: базова – [1], стор. 266-269; [2], През. №3, сл. № 37, 38, [4] <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <i>Література додаткова:</i> [4]

14	Тема 9.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем. Коефіцієнти трансформації перетворюючої системи. Визначення їх величин та значень. Література: базова – [1] стор. 269-272; [2] През. №8, сл. № 39-41; [4] <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <u>Література базова:</u> [4] Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції Приклад розрахунку сумарної похибки технологічної операції. Кількісний аналіз та структура сумарної похибки. Визначення напрямків підвищення точності обробки. Література: базова [1] стор. 272-277; [2] През. №8, сл. № 42-48; [4] стор. <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <u>Література додаткова:</u> [4]
15	Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції Методи скорочення та виключення початкових нестабільностей процесу обробки. Визначення напрямків впливу на останній за допомогою кількісної структури сумарної похибки. Література: базова [1] стор. 271-277; [2] През. №3, сл. № 18; [4] <u>Завдання на СРС:</u> додаток 1 <u>Література додаткова:</u> [4].

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять полягають у набутті вмінь практичного закріплення головних тем освітнього компоненту, які вивчено теоретично. В зв'язку з тим, що його головним завданням є надання знань та умінь прогнозування результатів та проектування технологічної операції, то всі практичні роботи пов'язано з цією діяльністю фахівця.

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Назва: Розрахунок режимів лазерного зміцнення на максимальну глибину Мета (перелік основних питань): 1. Назвати особливості зміцнення матеріалів імпульсним лазерним випроміненням? 2. Назвати особливості зміцнення матеріалів безперервним лазерним випроміненням? 3. Назвати особливості зміцнення матеріалів скануючим лазерним випроміненням? 4. Який режим лазерного впливу краще для зміцнення, чому? Посилання на методичний матеріал: [2, с.5-9] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-8 [2, с.8]
2	Назва: Розрахунок режимів лазерного термічного зміцнення на задану глибину Мета (перелік основних питань): 1. Назвати особливості лазерного термічного зміцнення матеріалів на задану глибину? 2. Який режим лазерного впливу краще для зміцнення, чому? Посилання на методичний матеріал: [2, с.9-18] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-11 [2, с.17]
3	Назва: Розрахунок режимів лазерного, комбінованого та гібридного наплавлення Мета (перелік основних питань): 1. Назвати особливості розрахунку наплавлення імпульсним лазерним випромінюванням

	2. Назвати особливості розрахунку наплавлення безперервним лазерним випромінюванням 3. Назвати особливості розрахунку наплавлення скануючим лазерним випромінюванням 4. Назвати особливості розрахунку комбінованого наплавлення 5. Назвати особливості розрахунку гібридного наплавлення 6. Який режим лазерного наплавлення краще, чому? Посилання на методичний матеріал: [2, с.19-27] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.25,27]
4	Назва: Розрахунок режимів обробки при лазерному загартуванні скануючим лазерним променем Мета (перелік основних питань): 1. Назвати особливості розрахунку гартування імпульсним лазерним випромінюванням в режимі сканування 2. Назвати особливості розрахунку гартування скануючим лазерним випромінюванням 3. Які недоліки лазерного гартування, як з ними борються? Посилання на методичний матеріал: [2, с.27-35] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.35]
5	Назва: Розрахунок системи фокусування лазерного випромінювання Мета (перелік основних питань): 1. Яку систему фокусування вибираємо? 2. Як визначається діаметр плями фокусування? 3. Особливості розрахунку дзеркальної системи фокусування 4. Як поєднують системи фокусування? Посилання на методичний матеріал: [2, с.35-40] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.40]
6	Назва: Розрахунок режимів лазерного, комбінованого та гібридного зварювання Мета (перелік основних питань): 1. Назвати особливості розрахунку режиму зварювання імпульсним лазерним випромінюванням 2. Назвати особливості розрахунку режиму зварювання безперервним лазерним випромінюванням 3. Назвати особливості розрахунку режиму зварювання скануючим лазерним випромінюванням 4. Назвати особливості розрахунку комбінованого зварювання 5. Назвати особливості розрахунку гібридного зварювання 6. Який режим лазерного наплавлення краще, чому? Посилання на методичний матеріал: [2, с.40-49] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-8 [2, с.49]
7	Назва: Механізм газолазерного різання матеріалів лазерним випромінюванням Мета (перелік основних питань): 1. Назвати особливості розрахунку режиму імпульсного газолазерного різання 2. Назвати особливості розрахунку режиму безперервного газолазерного різання 3. Назвати особливості розрахунку режиму газолазерного різання скануючим лазерним випромінюванням 4. Який режим газолазерного різання краще, чому? Посилання на методичний матеріал: [2, с.50-57] https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.57]

Лабораторні заняття

Лабораторні заняття не передбачено робочим навчальним планом та програмою освітнього компоненту.

6. Самостійна робота студента

Вид самостійної роботи студента	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год.
Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань	30	0,5	15
Підготовка до практичних робіт	14	0,75	7
Підготовка РГР	1	15	15
Підготовка до МКР	1	4	4
Підготовка до екзамену		36	36
Всього			106

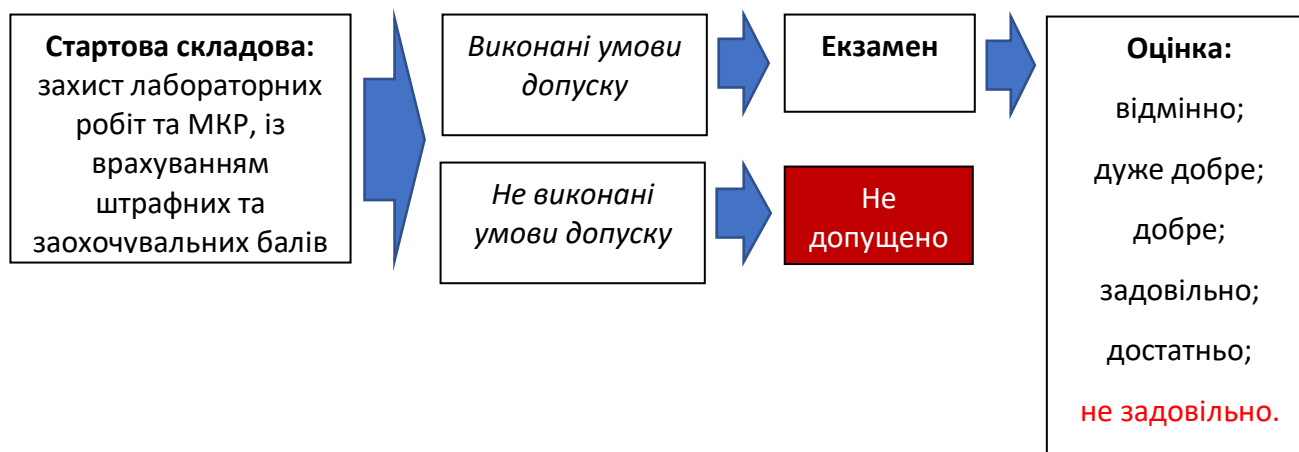
Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

1. Пропущене лекційне заняття необхідно продивитись за допомогою запису ZOOM, законспектувати основні положення, використовуючи матеріали розміщені викладачем в Google Classroom (за посиланням <https://classroom.google.com/c/NTk2ODI4ODU0NDM4?cjc=cppau4o>).
2. Практичні заняття проводяться за розкладом у відповідній лабораторії кафедри. У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Допускається відпрацювання практичних занять за домовленістю з викладачем поза розкладом. У разі дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з стабільним доступом до інтернету.
3. У разі спізнання на пару, студенту необхідно з дозволу викладача, не заважаючи іншим, зайти до лабораторії, зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефона повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.
4. Користуватись мобільними телефонами під час складання екзамену не дозволяється.
5. Контрольні роботи та залік проводяться за окремими правилами які викладач повинен довести до слухачів на попередньому занятті і які залежать від форми проведення навчання. До заліку допускаються студенти, які виконали усі практичні завдання, відпрацювали лабораторні роботи та здали модульну контрольну роботу.
6. В усіх інших питаннях слухач повинен керуватись Правилами внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського та Положенням про академічну доброчесність КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Оцінювання результатів навчання студентів відбувається за схемою:



Контрольні заходи:

1. Поточний контроль: виконання практичних завдань, МКР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	9	4	36
МКР	1	24	24
Екзамен	1	40	40
Всього			100

1. Лекції відвідування не оцінюються

2. Практичні роботи.

Ваговий бал – 4.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання і захист всіх практичних робіт (9 занять): $4 \times 9 = 36$ балів.

Вхідний контроль оцінюється в 1 бал, який нараховується за правильну відповідь студента на питання.

Виконання практичної роботи оцінюється в 1 бал, який нараховується за роботу студента з вимірювальними приладами.

Захист практичної роботи оцінюється в 2 бали, які нараховуються за правильні відповіді на два питання вартістю в 1 бал кожне, поставлені під час захисту роботи студентом.

3. Виконання модульна контрольна робота МКР (до 2 балів):

- повна, змістовна та аргументована відповідь – **2 бали** (одна МКР) тобто 4×2 (для двох атестацій);
- відповідь з несуттєвими помилками ($> 50\%$) – **1 бали** (одна МКР) або 4×1 (дві атестації);
- неправильна відповідь – **0 балів**

4. Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР):

- творчо виконана робота – **20 балів**;
- роботу виконано з незначними недоліками – **12-19 балів**;
- роботу виконано з певними помилками – **6-11 балів**;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – **0 балів**.
- примітка: За кожний тиждень запізнення з поданням РГР на перевірку нараховується **штрафний $r_{ш}$ -1 бал** (усього не більше –**3 балів**).

Під час дії воєнного стану штрафні бали не нараховуються.

Підрахунок максимальної кількості балів за контрольні заходи, які формують стартовий рейтинг, наведений у таблиці:

Складові стартового рейтингу R_c	Кількість занять у семестрі	Вагові бали за контрольні заходи	Сума вагових балів за контрольні заходи
Модульна контрольна робота	4	2	8
Розрахунково-графічна робота	1	20	20
Відпрацювання навичок на практичних заняттях	9	4	36
РАЗОМ:			64

**Розмір шкали рейтингу кредитного модуля: $RD = R_c + R_E = 64 + 36 = 100$ балів,
де стартова шкала $R_c = 64$ балів, екзаменаційна шкала $R_E = 36$ балів.**

Умови позитивної проміжної атестації – календарного контролю.

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен

- виконати практичні розрахунки (за відповідний період, ≥ 6 балів)
- виконати першу модульну-контрольну роботу (≥ 2 балів)

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (12 тиждень) студент повинен

- виконати практичні розрахунки (за відповідний період, ≥ 6 балів)
- виконати першу модульну-контрольну роботу (≥ 2 балів)

Умови допуску до екзамену.

1. Виконати РГР
2. Виконати чотири МКР
3. Розрахувати й захистити усі практичні завдання.
4. Стартовий рейтинг $R_c \geq 60$

Відпрацювання кожного пропущеного заняття (практика) може бути замінено складанням на тесту для отримання оцінки «зараховано» за відповідне заняття.

Критерії екзаменаційного оцінювання.

Екзаменаційний білет складається з 3 питань.

Правильна відповідь на кожне питання оцінюється в 12 балів.

Бали R_E за відповідь на екзамені розраховується у такий спосіб:

$$R_E = R_1 + R_2 + R_3 = 12 + 12 + 12 = 36,$$

де R_1 - бали за відповідь на перше питання, R_2 - бали за відповідь на друге питання, R_3 - третє питання.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за складання екзамену - 36 б.

Шкала оцінювання теоретичних питань
$R_1(R_2, R_3) = 0$ - відповідь відсутня
$R_1(R_2, R_3) = 2 - 3$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання
$R_1(R_2, R_3) = 4-5$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання
$R_1(R_2, R_3) = 6 - 8$ - неповна відповідь
$R_1(R_2, R_3) = 9 - 11$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності
$R_1(R_2, R_3) = 12$ - відповідь вірна і повна

Сума стартових балів та балів за екзаменаційну роботу переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею 2.

Екзамен в умовах дистанційного навчання проводиться через складання тесту on-line використовуючи ZOOM або GoogleClassroom.

Сума стартових балів та балів за екзаменаційний тест переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею 2:

В режимі відео зв'язку, використовуючи платформу ZOOM, студент/ка обов'язково знаходяться з ввімкненим відео «тягне білет», називаючи номер. Викладач передає/надає/показує на екрані вміст названого білету. Студент й викладач не вимикаючи відео починають спілкуватися по питанням з білету, якщо студент готовий одразу відповідати. Якщо студент одразу не готовий відповідати, викладач надає певний час на написання відповідей не вимикаючи відео – щоб бути впевненим що студент не списує чи використовує якісь сторонні інформаційні засоби.

Отриманні слухачем рейтингові бали переводять в університетські оцінки за 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

Робочу програму освітнього компоненту (силлабусу):

Складено: професор, д.т.н., професор Головка Леонід Федорович,
професор, д.т.н., професор Котляров Валерій Павлович
доцент, к.т.н., Блощин Михайло Сергійович
старший викладач, Козирєв Олексій Сергійович

Ухвалено оновлений силлабус: кафедрою ЛТФТ (Протокол №16 від 18.06. 2025 р.)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім Є.О. Патона
(протокол № 11/25 від 26.06.2025 р.).)

Перелік завдань для самостійної роботи студентів з дисципліни «Проектування технологічних процесів у виробництві»

Тема 1.1. Особливості структурно-фазових перетворень у залізо - вуглецевих сплавах.

Завдання на СРС: Виконати аналіз лазерної поверхневої обробки, як технологічної системи з визначенням всіх факторів і параметрів процесу, їх наслідково-причинних зв'язків. Надати розгорнуту характеристику кожному фактору (параметрам лазерного променя, параметрам умов обробки, параметрам оброблюємої деталі та іншим), визначити керуючі фактори (параметри) системи при лазерній обробці залізо-вуглецевих сплавів

Тема 1.2. Структурно-фазові перетворення в у кольорових сплавах.

Завдання на СРС: Надати розгорнуту характеристику кожному фактору (параметрам лазерного променя, параметрам умов обробки, параметрам оброблюємої деталі та іншим), визначити керуючі фактори (параметри) системи при лазерній обробці кольорових сплавів на основі алюмінію

Тема 1.3. Лазерне гартування із рідинної фази, аморфізація.

Завдання на СРС: Вибрати технологічну схему лазерного поверхневого зміцнення, скласти її і обґрунтувати.

Тема 2.1. Лазерне поверхнєве мікро легування.

Завдання на СРС: Вибрати технологічну схему лазерного поверхневого мікро легування, скласти її і обґрунтувати. Вибрати технологічну схему лазерного наплавлення та спікання порошкового матеріалу, скласти її і обґрунтувати.

Тема 2.2 Лазерне наплавлення та спікання

Завдання на СРС: Визначити зміну параметрів поверхневого шару після реалізації лазерного термічного зміцнення. Визначити способи дослідження трібо технічних характеристик зміцнених вуглецевих, легованих та високолегованих сталей.

Тема 3.1. Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення

Завдання на СРС: Визначити способи дослідження властивостей наплавлених шарів, навести їх особливості

Тема 4.1. Технологічні схеми лазерної поверхневої обробки.

Завдання СРС: Визначити особливості лазерного термічного зміцнення, термоциклювання, відпуску, відпалювання. Які особливості побудови технологічних процесів лазерного наплавлення, спікання, та нанесення покриттів? Які особливості реалізації процесу обробки?

Тема 4.2. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки

Завдання на СРС 1: Ранжувати ряд факторів процесу лазерного зміцнення та наплавлення/відновлення деталей різного призначення по їх впливу на показник відтворюваності розмірів та геометрії деталей. Які особливості?

Завдання на СРС 2: Ранжувати ряд факторів процесу лазерного 3D наплавлення по їх впливу на показник відтворюваності розмірів та геометрії деталей. Які особливості спікання композиційних матеріалів лазерним випромінюванням, які виникають при цьому напруження, як з ними боротися.

Тема 5.1. Принципи організації лазерних технологічних комплексів для лазерної поверхневої обробки

Завдання на СРС:

Скласти структурну схему та розробити компоновку лазерного технологічного комплексу. Вибрати необхідні елементи технологічного комплексу, розробити фокусуючу систему та дозатор для лазерного наплавлення.

Тема 6.1 Вибір типу, складу, компонування лазерної технологічної установки (ЛТУ)

Завдання на СРС 1: Скласти перелік вузлів для ЛТУ різного призначення операцій ЛРО. Обґрунтувати вимоги до складових та визначити можливі шляхи модернізації ЛТУ для її пристосування до конкретних операцій

Завдання на СРС 2: Визначити можливий склад гнучкого автоматизованого виробництва з максимальним використанням здатності до оперативного керування пучком лазерного випромінювання, виходячи із сучасного рівня лазерної техніки, технологічного оснащення та новітніх способів та схем обробки.

Завдання на СРС 3: Проаналізувати приклади оптичної комплектації різних за призначенням ЛТУ. Дайте пропозиції до вдосконалення схем за комплектністю та за її реалізацією, використовуючи патентний пошук за сьома державами (США, Великобританія, Японія, РФ, Франція, Швейцарія, ФРН).

Тема 6.2. Урахування характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки при обранні випромінювача ЛТУ

Завдання на СРС 1: Встановити *технологічні критерії* вибору лазерного технологічного устаткування. Як впливає характер поглинання променистої енергії на вибір типу випромінювача? Обґрунтувати вплив характеру поглинання променистої енергії на якісні показники ЛРО різних матеріалів.

Завдання на СРС 2: Чим відрізняються лазери з активною речовиною на іоні неодиму (Nd^{+3}) на базі скляної та кристалевої матриці за режимом випромінювання? Знайдіть пояснення цьому явищу, аналізуючи ізоляційні властивості матриць із різних за структурою діелектриків. Подовжити порівняння лазерів волоконних та дискових.

Тема 6.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ

Завдання на СРС 1: Проаналізуйте *методи доопрацювання* конструкцій лазерів на кристалічних елементах з метою поліпшення їх технологічних здібностей.

Завдання на СРС 2: Які методи використовують для *формування імпульсного режиму генерації*? Які види модуляторів застосовуються для цієї ж мети?

Завдання на СРС 3: Розробити або вдосконалити *схеми механічних модуляторів добротності* резонатора лазера.

Завдання на СРС 4: На якому принципі побудовані *модулятори для керування тонкою часовою структурою імпульсу* випромінювання? Створіть свої пропозиції конструкцій (схем) модуляторів добротності.

Тема 6.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ

Завдання на СРС 1: Познайомитися з прикладами адаптивної організації операцій механічної обробки. Яким чином організовано активний контроль результату обробки? В якій формі задається критичний (допустимий) рівень показника? Який алгоритм використовується для порівняння дійсного та заданого рівня показника? Що є основою прийняття рішень про напрямки корекції технологічної операції? Які засоби впливу на режим обробки? Чи можлива адаптивізація операції за декількома критеріями одночасно?

Завдання на СРС 2: Порівняти методи керування рівнем різних показників операцій ЛРО (розмірів, показників якості, продуктивності, тощо). Яка особливість лазерної обробки впливає на стратегію та тактику організації ЛРО? Порівняйте алгоритми адаптивної організації операції в залежності від вимог до її результатів. Навести приклади вимог до результатів ЛРО, що змінюють форму адаптивної організації.

Завдання на СРС 3: Які переваги у випромінювачів різних типів? Проаналізуйте особливості обробки на налагоджених ЛТУ та за адаптивною схемою організації операції. Наведіть умови їх ефективного використання. Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання

Завдання на СРС 4: Навести (виконати літературний огляд або створити) схеми або конструкції складових технологічного модуля ЛТУ. Які додаткові вузли бажано використати для підвищення експлуатаційних можливостей ЛТУ? Для нових за визначенням керівника СРС та з його допомогою скласти необхідні документи для звернення в ІІВ для оформлення авторського права.

Завдання на СРС 5: Визначити бажану компоновку та склад ЛТУ з урахуванням новітніх за пошуком із доступних джерел лазерних систем, оптичних елементів та інших засобів впливу на якість технологічної операції. Запропонувати свої пропозиції з мотивів підвищення експлуатаційних можливостей ЛТУ.

Тема 6.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ

Завдання на СРС 1: Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання.

Завдання на СРС 2: Організація технологічної операції лазерної обробки отворів з контролем дійсного його розміру за допомогою пневматичних датчиків тиску або розходу. Який технологічний фактор використовується як керуючий для рішення різноманітних технологічних завдань?

Завдання на СРС 3: Наведіть схеми обробки:

- заготовки з одним отвором, яка має форму, доступну для герметизації внутрішньої порожнини;
- заготовки простої форми з одним отвором ;
- заготовки довільної форми з багатьма отворами.

Тема 7.1. Юстирування резонатора лазера

Завдання на СРС 1: Порівняти точність юстирування резонатора та центрування ОС за запропонованою методикою та з допомогою коліматора.

Тема 7.2. Центрування оптичної системи ЛТУ

Завдання на СРС 1: Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням.

Тема 7.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя

Завдання на СРС 1: Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Описати та визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Пояснити причини їх діяння.

Завдання на СРС 2: Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням.

Завдання на СРС 3: Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу?

Завдання на СРС 4: Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка?

Тема 8.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:

Завдання на СРС 1: Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Описати та визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Пояснити причини їх діяння.

Завдання на СРС 2: Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням.

Завдання на СРС 3: Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу?

Завдання на СРС 4: Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка?

Завдання на СРС 5: Класифікація засобів та способів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається.

Завдання на СРС 6: Наведіть відомі або розробіть оригінальні приклади схем або конструкцій засобів підвищення якості та продуктивності лазерної обробки отворів. Використати патентну інформацію з шести країн (США, ФРН, Великобританія, РФ, Франція, Швейцарія, Японія).

Тема 8.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

Завдання на СРС 1: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу механічного доопрацювання отвору після лазерної обробки з метою усунення одного з недоліків операції (за вибором студента).

Завдання на СРС 2: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу створення умов для реалізації додаткового очищення порожнини отвору діянням додаткових видів енергії з метою підвищення якості результатів технологічної операції (критерій якості - за вибором студента).

Завдання на СРС 3: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу оперативного впливу на конфігурацію резонатора технологічного лазера з метою компенсації його часової деградації або планового змінення для варіативного керування режимом лазерної обробки протягом операції.

Завдання на СРС 4: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу контурного вирізання порожнин з простим за формою поперечком (круглої, багатогранної форми, подовжного пазу) у випадку недостатності енергетичних властивостей

Завдання на СРС 5: Розробити схему або конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу усунення тріщин біля обробленого лазерним променем елемента виробу із схильних до розтріскування матеріалів внаслідок своїх теплофізичних і механічних властивостей або складу та структури.

Завдання на СРС 6: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу формування порожнини методом трепанації за умови відсутності програмно керуемого відносного переміщення інструмента та заготівки..

Завдання на СРС 7: Розробити конструкцію пристрою (модулятора добротності резонатора) для керування часовою структурою імпульсу випромінювання із оптимальною скважністю пічків, яка виключає вихолодження матеріалу в порожнині під час перерви в їх подачі нижче температури його отвердіння (кристалізації) або запропонувати інший спосіб обробки з цією (за вибором студента).

Завдання на СРС 8: Запропонувати схему технологічної операції, в якій використано додатковий вплив на розплавлений матеріал заготівки в оброблювальній порожнині (надлишковий тиск, вакуум, енергія полів, сили інерції, тощо) та пристрою для її реалізації (схематично або конструктивно) (за вибором студента).

Завдання на СРС 9: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу поєднання впливу на теплопровідність матеріалу заготівки (шляхом її термічної обробки або місцевого наклепу) з переходами формування порожнини лазерним променем. Бажано виконання обох видів обробки в одній операції на єдиному технологічному обладнанні.

Завдання на СРС 10: Розробити конструкцію дзеркального пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу доопрацювання обробленої порожнини зворотнім діянням лазерного променя, який залишився невикористаним після виходу із порожнини з тилу заготівки або при подачі додаткових імпульсів. Необхідно передбачити можливість оперативного змінення конфігурації дзеркальної поверхні для створення можливості керування повздовжнім профілем оброблювальної порожнини.

Завдання на СРС 11: Розробити конструкцію пристрою для реалізації електролазерного методу формування отвору з можливістю оперативного (автоматизованого) змінення діелектричної прокладки та додаткового електроду.

Тема 8.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

Завдання на СРС 1: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного розкрюювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням відомих рекомендацій.

Завдання на СРС 2: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.

Завдання на СРС 3: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різу (пазу).

Завдання на СРС 4: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різу (по товщині заготовки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів.

Завдання на СРС 5: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.

Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електро лазерної обробки кільцевих пазів.

Завдання на СРС 7: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.

Завдання на СРС 8: Створити технологічне забезпечення операції формування розмірних пазів в заготовках із крихких матеріалів з виключенням їх розтріскування шляхом обмеження розтікання тепла із зони опромінення.

Тема 8.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО

Завдання на СРС 1: Розробити методику проектування ємкісного позиціонера та конструкцію вузла оптичної системи з підтримкою заданих умов опромінення протягом виконання технологічної операції. Забезпечити можливість його використання для лазерного розрізання листів із діелектриків.

Завдання на СРС 2: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для її використання в операції газу лазерного вирізання виробів із листових матеріалів із створенням умов автоматизації переходу її налагодження відносно поверхні заготовки, використовуючи технологічний газ в якості джерела інформації про їх дійсне поточне розташування.

Завдання на СРС 3: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для ЛРО отворів в заготовках простої форми із реалізацією схеми автоматизації переходу її налагодження відносно поверхні заготовки та використання стислого повітря для калібрування каналу оброблювальних отворів (з вільним обранням базової ЛТУ)

Завдання на СРС 4: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при візуальному налагодженні положення заготовки в каустиці лазерного променя в разі прозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 5: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при візуальному налагодженні положення заготовки в каустиці лазерного променя в разі непрозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 6: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при автоматизованому налагодженні положення заготовки в каустиці лазерного променя в разі прозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 7: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при автоматизованому налагодженні положення заготовки в каустиці лазерного променя в разі непрозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 8: Розробити конструкцію різача для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (лінза із Ge) та використанням візуального методу налагодження положення заготовки в видимому промені додаткового лазера з його відбиттям від поверхні оптичного елемента.

Завдання на СРС 9: Розробити конструкцію різача для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (дзеркала або дзеркального об'єктиву) та використанням візуального методу налагодження положення заготовки в видимому промені додаткового лазера з його відбиттям від поверхні оптичного елемента.

Завдання на СРС 10: Оцінити необхідну чуйність пневматичного датчику для його використання в системі контролю наскрізності оброблювального отвору, який зв'язує внутрішню порожнину заготовки з довкіллям.

Завдання на СРС 11: Зробити спробу використання якихось параметрів ерозійного факелу при ЛРО для контролю процесу діяння лазерного променя під час створення наскрізного отвору.

Завдання на СРС 12: Розробити конструкцію пристрою для використання схеми опромінення з доопрацюванням одним додатковим імпульсом отвору під час його лазерної обробки, якщо розмір отвору не досяг допустимих меж після заданої кількості імпульсів.

Завдання на СРС 13: Розробити конструкцію пристрою для використання схеми опромінення з доопрацюванням додатковими імпульсами отвору під час його лазерної обробки, якщо розмір отвору не досяг допустимих меж після заданої кількості імпульсів. Розрахувати пневматичні характеристики струменя повітря, що використовується для вакуумування камери під лінзою, для створення ежекторного ефекту та захисту поверхні лінзи.

Завдання на СРС 14: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготовки відомої маси та розмірів протягом доопрацювання

оброблювального отвору до досягнення його розміру (площі попереку) заданих меж. Створити конструкції вимірювальної камери у вигляді насадки на корпус об'єктиву (лінзи) оптичної системи СОК-1.

Завдання на СРС 15: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготовки відомої маси та розмірів протягом доопрацювання оброблювального отвору до досягнення його розміру (площі попереку) заданих меж. Створити конструкції вимірювальної камери у вигляді насадки на корпус об'єктиву (лінзи) оптичної системи "Коростель".

Завдання на СРС 16: Визначити відносну точність контролю поточного розміру отвору, що обробляється лазерним променем, за допомогою фотометричних датчиків в разі його освітлення залишками енергії в робочому промені або випромінюванням від додаткового джерела, наприклад, лазера.

Завдання на СРС 17: Розробити конструкцію датчика відносного позиціонування оптичного елементу ЛТУ та поверхні заготовки для початкового їх розташування з можливістю керування розмірним зміщенням за результатами виміру поточного розміру отвору під час обробки з адаптивною організацією ТО.

Завдання на СРС 18: Створити експрес методику визначення технологічного регламенту операції контурного вирізання порожнин в листових заготовках на базі системи контролю напрямку виходу робочого струменя технологічного газу із різу з тильної сторони заготовки двома пневматичними датчиками. Уточнити значення координат розташування пари пневматичних датчиків під заготовкою та її залежність від розмірних та теплофізичних параметрів заготовки та її матеріалу.

Тема 9.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО

Завдання на СРС 1:

Загально технологічне поняття точності обробки. Яку точність обслуговує технологія обробки. Перерахувати комплекс показників, за якими оцінюється загальна точність обробки. Навести приклади виробів з різними наборами показників точності. Порівняйте поняття точності та похибки обробки, за яким критерієм доцільніше досліджувати технологічний процес?

Завдання на СРС 2:

Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки?

Завдання на СРС 3:

Принцип суперпозиції для побудови моделі точності технологічної операції. Перетворююча система як підстава для побудови постульованої моделі. Навести склад перетворюючої системи, яка повинна замінити Технологічну Систему, що Обробляє (ТОС).

Завдання на СРС 4:

Які складові частини ТОС приймають участь у формуванні похибки обробки. Яким чином початкові нестабільності процесу відбиваються у коливанні вихідних його показників?

Завдання на СРС 5:

Наведіть розмірність коефіцієнтів трансформації моделі точності процесу лазерної розмірної обробки. За яких умов допустима лінеаризація моделі точності та для чого це робиться?

Завдання на СРС 6:

Числові характеристики показника точності за умови його нормального розподілу. На який підставі результати обробки вважаються випадковими нормально розподіленими величинами?

Завдання на СРС 7:

Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки?

Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

Завдання на СРС 1: Наведіть класифікацію сумарної похибки обробки отвору пучком лазерного випромінювання. Коливання яких загальних параметрів процесу є базовим для її побудови? До якого рівня треба деталізувати елементарні похибки, щоб мати змогу спростити вигляд моделі точності обробки?

Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

9.2.1. Джерела нестабільностей інструмента – пучка лазерного випромінювання.

Завдання на СРС 1: Проаналізуйте структуру складових частин похибки, яку вносять коливання параметрів пучка випромінювання. Визначте джерела нестабільностей параметрів інструменту для найбільш пристосованого для розмірної обробки отворів лазера на твердому тілі.

Завдання на СРС 2: Обґрунтуйте необхідність імпульсного режиму опромінювання для розмірної обробки з випаруванням матеріалу заготовки: докажите необхідність високого рівня густини потужності для цього механізму руйнування та переривів для евакуації продуктів ерозії з порожнини отвору, що обробляється.

Завдання на СРС 2: Розрахуйте похибку імпульсної енергії випромінювання твердотільного лазера на гранаті, яку визиває колювання напружки накачки 20 В за її середнім значенням $U = 1850$ В та рівнем енергії $E = 2$ Дж (ємність формуючої лінії накачки $C = 300$ мкФ).

Яку похибку також потрібно враховувати для кристалічних матриць активних середовищ. Розрахуйте її величину для випадку нагріву матриці гранату до середньої температури $T = 550$ С з її коливанням у інтервалі $\Delta T = 50$ С?

Завдання на СРС 3: Проаналізуйте причини коливання загальної тривалості імпульсу випромінювання. Розрахуйте її чисельну характеристику для випромінювача на неодимовому склі, який працює з рівнем енергії $E = 2,5$ Дж (накачування до $U = 1675 \pm 10$ В на ємності 150 мкФ) та тривалості накачки $t = 1,0$ мс, що визначає тривалість імпульсу $\tau = 300$ мкс.

Завдання на СРС 4: Як впливає на похибку розмірів отворів після лазерної обробки макроструктура імпульсу випромінювання? Які вимоги до переднього фронту імпульсу ставляться у зв'язку з необхідністю енергійного початку процесу обробки; наскільки ці вимоги виконуються у реальних макроструктурах імпульсів?

Завдання на СРС 5: За яким законом повинна змінюватись потужність випромінювання у серединній частині імпульсу за умови підтримання енергійного характеру руйнування матеріалу заготовки? Запропонуйте засоби або способи керування інтенсивністю випромінювання на цій частині імпульсу.

Завдання на СРС 6: Обґрунтуйте характер впливу подовженого спаду інтенсивності у кінцевій частині імпульсу на якість обробки. За якою розрахунковою схемою можна передбачити похибку з цієї причини? Визначте її величину для випадку опромінювання зразка із сталі 45 імпульсом випромінювання тривалістю 500 мкс із задньою частиною 100 мкс за умови концентрації енергії у зону діаметром 0,01 мм до інтенсивності $5 \cdot 10^7$ Вт/см² у передній частині, та $6 \cdot 10^5$ – у задній. Які засоби боротьби з цим джерелом похибки можете запропонувати?

Завдання на СРС 7: Поясніть причини нестабільності кута розходження пучка випромінювання. Розрахуйте її числову характеристику для випромінювача на гранаті Ø6 мм та довжиною $l = 100$ мм з полу конфокальним резонатором ($L = 500$ мм та $R 100\% = 1000$ мм), який збуджується накачкою потужністю $P_n = 2000 \pm 20$ Вт (поріг генерації $P_n = 500$ Вт).

Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

9.2.2. Похибки технологічних прийомів.

Завдання на СРС 1: Систематизуйте технологічні прийоми, які виконуються перед та під час технологічної операції. Яку роль відіграють суб'єктивні властивості оператора під час настройки відносного положення заготовки та інструменту, режиму обробки та розташування заготовки у робочій зоні? Чим можна скоротити перелік помилок оператора? Новітні методи виконання деяких технологічних прийомів.

Завдання на СРС 2: Наведіть приклади розрахунків помилок позиціонування пучка випромінювання та заготовки. Які з них є систематичними та за яких умов вони можуть бути скороченими або усунутими? Проаналізуйте детально похибки візуального виконання цієї операції, доведіть, що вони є об'єктивними наслідками проявлення хвильової та корпускулярної теорії світла.

Завдання на СРС 3: Запропонуйте методи підвищення якості настройки за допомогою використання аналогових або автоматизованих схем. Які вимоги можна висунути до якості поверхонь заготовки щоб зменшити похибку настройки.

Завдання на СРС 4: Похибки які з'являються під час налагодження режиму випромінювання. Від чого залежить точність настройки і як впливають параметри використаних приладів на якість виконання переходу?

Завдання на СРС 5: Наведіть джерела систематичного дрейфу рівня настройки енергетичних та інших параметрів пучка випромінювання. За яких умов можна цю систематичну похибку не враховувати під час прогнозних розрахунків?

Завдання на СРС 6: Проаналізуйте можливі похибки у положенні заготовки під час її розташування у робочій зоні. До яких наслідків ведуть окрему види похибок? Чи можна визначити їх випадкові характеристики експериментальними методами? Пропонується вивести розрахункову залежність для урахування неточності положення заготовки у робочій позиції та зробити оціночний розрахунок очікуваної похибки відносного положення заготовки за багато кратним повторенням переходу

9.2.3. Нестабільність заготовки.

Завдання на СРС 1: Які властивості заготовки коливаються та впливають на відтворюваність розмірних результатів обробки? Чи можна врахувати їх вплив під час проектування технологічної операції? Через які механізми впливає неточність товщини заготовки на нестабільність отворів після лазерної обробки? Які об'єктивні висновки можна зробити о якості попередньої операції що до впливу її похибок на якість лазерної обробки?

Завдання на СРС 2: Чи значуще впливають коливання рівня поглинання променистої енергії поверхнею заготовки на результати прошивки отворів? Запропонуйте ефективні методи стабілізації оптичних властивостей поверхні.

Завдання на СРС 3: Які висновки можна зробити щодо впливу неоднорідності структури та складу матеріалу на його здатність до обробки та що рекомендувати для оптимальної організації операції?

Тема 9.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем.

Коефіцієнти трансформації перетворюючої системи. Визначення їх величин та значень.

Завдання на СРС 1: Яким чином знаходяться коефіцієнти трансформації перетворюючої системи, яка заміняє ТОС під час аналізу точності обробки? Доведіть, що аналітичні методи більш доцільні для цього.

За якою метою величини коефіцієнтів можуть бути врахованими на етапі оптимізації технологічної операції?

Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції

Завдання на СРС 1: Виконати детальний аналіз структури сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів. Які складові частини перевершують інші? Приведіть приклади - яким чином можна знизити вплив початкових нестабільностей на величину похибки. Які конструктивні рішення одержують за допомогою аналізу структури похибки? Розрахуйте складові частини сумарної похибки для такого варіанту обробки:

- заготовка – сталь 18Х2Н4ВА, завтовшки $\delta = 2 \pm 0,15$ мм;
- отвір – $\varnothing 0,25 \pm 0,01$ мм
- режими обробки розраховуються за схемою №2 Steffen'a.

Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції

Завдання на СРС 1: Визначити шляхи впливу на сумарну похибку на основі аналізу її кількісної структури:

- вдосконалення технологічного обладнання;
- використання методів параметричного впливу на пучок випромінювання;
- вдосконалення методів налагодження технологічної схеми опромінювання;
- підвищення вимог до якості заготовки (розмірних та до матеріалу);
- використання засобів покращання теплових властивостей матеріалу заготовки;
- використання адаптивних форм організації технологічної операції.