



ЛАЗЕРНА РОЗМІРНА ОБРОБКА

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>Прикладна механіка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS (150 год.), лекції – 30 год., практичні – 14 год., лабораторні роботи – 16 год, СРС – 90 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, МКР</i>
Розклад занять	<i>https://Rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції: Котляров Валерій Павлович, професор, д.т. н. kotlyarovv@ukr.net, +380 99 385 6117 Практичні: Козирєв Олексій Сергійович +380 68 0710051 Лабораторні: Козирєв Олексій Сергійович +380 68 0710051</i>
Розміщення курсу	<i>CAMPUS</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Лазерна розмірна обробка» подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки реалізації технологічних операцій лазерної розмірної обробки (ЛРО), 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, наприклад, електрофізичних методів, які відносяться до класу нетрадиційних методів обробки. Лазерна технологія, як складова традиційних технологій так і фізико-технічних, є наукою, яка забезпечує практичне використання новітніх розробок процесів діяння променя енергії на матеріали з досягненням в них замовлених критеріїв якості, продуктивності та надання виробам нових, не досягнених раніше властивостей. Для науковців елементи керування процесом діяння променя на заготовку, які використовуються в лазерній технології, є мистецьким важелем для коректного планового переведення об'єкту досліджень у відповідний стан, що є основою для створення багатьох рівневих умов його існування.

Ця навчальна дисципліна відноситься до технологічної підготовки магістрів та торкається шляхів реалізації розробленої операції, починаючи з оптимізації типу та класу технологічного обладнання, в першу чергу лазера за його фізичними та енергетичними можливостями. Крім того, суттєву цінність набуває технологічне оснащення операцій, що збільшує технологічну здатність інструменту в кількісних та якісних вимірах.

Навчальна дисципліна належить до вибіркової дисципліни циклу освітньої програми другого рівня вищої освіти – магістра з прикладної механіки.

Таким чином, предметом вивчення навчальної дисципліни ЛРО є здобуття знань та умінь створення технологічного забезпечення обраної операції формоутворення заданих елементів виробу в його заготовці, згідно з технологічним регламентом її виконання за розробленою схемою обробки, обґрунтованого вибору технологічного обладнання та додаткового оснащення (в разі необхідності).

Ця мета може бути досягнута в разі засвоєння студентами наступних програмних результатів навчання, тобто компетентностей, відповідно до послідовності дій:

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 01	Здатність до критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та існуючих матеріалів, параметрів процесів їх отримання і обробки та використання у виробі (або у виробничих умовах)
ФК 02	Здатність обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів, для конкретних умов експлуатації
ФК 08	Здатність розробляти спеціальні способи та засоби лазерної розмірної та поверхневої обробки.
ФК 09	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.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння кредитного модулю мають продемонструвати такі **програмні результати**: навчання, передбачені Освітньо - Науковою Програмою «Прикладна механіка»:[T1]

РН1	Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань
РН2	Виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі
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, опіювати 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 засоби 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 дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна базується на курсах бакалаврської підготовки по спеціальності Прикладна механіка.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Комплектування технологічних операцій лазерної розмірної обробки обладнанням та технологічним оснащенням

Тема 1.1. Вибір типу, складу, компоновання лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі заздалегідь обраної схеми обробки та визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення. Обґрунтування прийнятих рішень шляхом оцінювання технологічних та техніко-економічних показників, виявлених переваг та недоліків спроектованої операції ЛРО

Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного обрання випромінювача ЛТУ та виду його генерації.

Тема 1.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнування її матеріалу

Тема 1.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ

Тема 1.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ

Розділ 2. Методи технологічного обслуговування та налаштування режиму роботи лазерної технологічної установки

Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера

Тема 2.2. Центрування оптичної системи ЛТУ

Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя

Тема 2.4. Засоби нелінійної оптики для керування інтенсивності променя в зоні опромінення

Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки

Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО нерезимними методами

Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:

Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:

Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

Тема 3.3. Способи обробки надглибоких мікро отворів

Тема 3.4. Особливі шляхи та об'єкти автоматизації лазерних технологічних операцій. Приклади реалізації та перспективи.

Тема 3.5. Використання особливостей інструмента – лазерного променя – для адаптивної форми організації ТО ЛРО

Розділ 4. Точність розмірних результатів ТО ЛРО

Тема 4.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО

Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Формування та перетворення каустики пучка випромінювання.

Тема 4.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем.

Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції

Тема 4.5. Можливості використання штучних інтелекту (ШІ) для прогнозування та керування точністю ЛРО.

4. Навчальні матеріали та ресурси

(азова література

1. 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>
2. 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»
3. Котляров В.П. Технологічне оснащення лазерних комплексів. Підручник. Електронне видання. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 592с. Доступ: депозитарій НТБ НТУУ «КПІ» library.ntu-kpi.kiev.ua; <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3085>
4. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – Кн. 1. – 376 с. (с. 254 – 291)

Додаткова література

5. Котляров В.П., Сінюченко В.В. Засоби надання гнучкості інструменту з лазерного променя. Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2018.-№3. С. 70-83 Доступ:НТБ НТУУ КПІ

6. Kotlyarov V.P., Kiyaschenco 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. Доступ: НТБ НТУУ КПІ
7. Котляров В.П., Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування якісних показників операцій лазерної обробки / В.П. Котляров, В.Л. Дубнюк, Т.П. Ворончак // Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2015.- №-3 (75) С. 104-114 Доступ: НТБ НТУУ КПІ
8. Патенти України: : № 76424, № 73872, № 76873, № 86594, № 99407, № 97505, № 97198, № 94453, № 105741, № 103138, № 103152, № 103931, № 107508, № 106630, № 121892, № 119174, № 130161, № 128602, № 134992, № 137935, № 102360

Навчальний контент

Таблиця 1. Структура викладання навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього го	У тому числі			
		Лекції	Лаб. роб	Практ	СРС
Розділ 1. Комплектування технологічних операцій лазерної розмірної обробки (ЛРО) обладнанням та технологічним оснащенням					
Тема 1.1. Вибір типу, складу, компоновання лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі заздалегідь обраної схеми обробки та визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення	7	2	-	1	4
Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного обрання випромінювача ЛТУ та виду його генерації	4	2	-	1	1
Тема 1.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнуванням її матеріалу	4	2	-	1	1
Тема 1.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ	6	2	-	1	3
Тема 1.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ	3	1	-		2
Разом за розділом 1	24	9	-	4	11
Розділ 2. Методи налаштування лазерної технологічної установки					
Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера	14	1	6	1	6
Тема 2.2. Центрування оптичної системи ЛТУ	12	1	6		5
Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя	10	1	4	1	4
Тема 2.4. Засоби нелінійної оптики для керування інтенсивності променя в зоні опромінення	6	2		1	3
Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки	6	2		1	3
Контрольна модульна робота 1	1	-	-	1	
Разом за розділом 2	47	7	16	3	21
Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО					
Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин	4	2	-		2
Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин	5	2	-	1	2
Тема 3.3. Способи обробки надглибоких мікро отворів	5	1	-	1	3
Тема 3.4. Особливі шляхи та об'єкти автоматизації лазерних технологічних операцій. Приклади реалізації та перспективи	4	1	-	1	2
Тема 3.5. Використання особливостей інструмента – лазерного променя – для адаптивної форми організації ТО	4	2		1	1
Разом за розділом 3	22	8	-	4	10
Розділ 4. Точність розмірних результатів ТО ЛРО					
Тема 4.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО	4	1	-		3
Тема 4.2 Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО	4	1	-		3
Тема 4.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем	4	1	-		3
Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції	5	1	-	1	3

Тема 4.5. Можливості використання штучного інтелекту (ШІ) для прогнозування та керування точністю ЛРО	9	2		1	6
Контрольна модульна робота 2	1	-	-	1	
Разом за розділом 4	27	6	-	3	18
Екзамен	30	-	-		30
Всього годин	150	30	16	14	90

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ 1. Комплектування технологічних операцій лазерної розмірної обробки (ЛРО) обладнанням та технологічним оснащенням	
1	Тема 1.1 Вибір типу, складу, компоновання лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі заздалегідь обраної схеми обробки, визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення Мета: Навичка компоновання ЛТУ при її спеціалізації Література базова: [1] стор. 152-157; [2] През. 2, сл. № 3-4; додаткова – [6], [8] 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 6 державами (США, Великобританія, Японія, Франція, Швейцарія, ФРН).
2	Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного обрання випромінювача ЛТУ та виду його генерації Мета: Навчання спеціаліста керуванням видом теплового джерела шляхом обрання властивостей довжини хвилі променя. Література базова: - [1] стор. 147-151; [2] През. 1, сл. № 15-28; [3] стор. 134 -146, [4] додаткова [8] 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 (Nd³⁺) 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.
3	Тема 1.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнування її матеріалу. Мета: Оптимізація складу, типу лазера та компоновки ЛТУ на сучасних технологічних пристосуваннях. Література базова: [1] стор. 152-157; 168-170; [2] През. 2, сл. № 3-24; [4]? додаткова – [6], [8] Завдання на СРС 3: Проаналізуйте методи доопрацювання конструкцій лазерів на кристалічних елементах з метою поліпшення їх технологічних здібностей. Завдання на СРС 4: Які методи використовують для формування імпульсного режиму генерації? Які види модулаторів застосовуються для цієї ж мети? Завдання на СРС 5: Розробити або вдосконалити схеми механічних модулаторів добротності резонатора лазера. Завдання на СРС 6: На якому принципі побудовані модулатори для керування тонкою часовою структурою імпульсу випромінювання? Створіть свої пропозиції конструкцій (схем) модулаторів добротності.
4	Тема 1.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ Автоматизація та адаптивна організація технологічної операції. Послідовність переходів у технологічній операції з різними формами адаптивної організації. Мета: Модернізація знань в зв'язку прогресивним тенденціям в лазерній техніці та технологіях Література базова: - [1] стор. 158-162; 80-82; [2] През. 3 сл. № 3-10 Література додаткова: [8] 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?

	<u>Завдання на СРС 2:</u> 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. <u>Завдання на СРС 3:</u> 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 <u>Завдання на СРС 4:</u> 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. <u>Завдання на СРС 5:</u> <u>Визначити бажану компоновку та склад ЛТУ з урахуванням новітніх за пошуком із доступних</u> джерел лазерних систем, оптичних елементів та інших засобів впливу на якість технологічної операції. Запропонувати свої пропозиції з мотивів підвищення експлуатаційних можливостей ЛТУ.
5	Тема 1.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ Елементна база ЛТУ з адаптивною організацією операції. Схеми пристроїв з пневматичними засобами вимірювання поточного розміру обробки та керування умовами опромінювання заготовки. Мета: Ознайомлення з прикладами спеціалізації та модернізації серійного обладнання під конкретні вимоги технології та фактичної наявності обладнання. Література: базова - [1] стор. 162-168; [2] През. 3, сл. № 11-44, .Література додаткова: [6] [8] <u>Завдання на СРС:</u> Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання. Організація технологічної операції лазерної обробки отворів з контролем дійсного його розміру за допомогою пневматичних датчиків тиску або розходу. Який технологічний фактори використовується як керуючі для рішення різноманітних технологічних завдань? 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.
Розділ 2. Методи налаштування лазерної технологічної установки	
5, 6	Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера. Додаткова апаратура, методика та порядок дій. Центрування оптичної системи. Тема: Етапи налагодження ЛТУ для реалізації розробленої операції Література: базова - [2] През. 4, сл. № 3-6, [3] Література додаткова: -[8] <u>Завдання на СРС :</u> Порівняти точність юстирування резонатора та центрування ОС за запропонованою методикою та з допомогою коліматора.
6	Тема 2.2. 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 позиціонування пучка випромінювання та заготовки. Тема: Етапи налагодження ЛТУ для реалізації розробленої операції Література: базова - [1] стор. 170-176; [2] През. 4, сл. №7-16; [3] Література додаткова: -[8] <u>Завдання на СРС:</u> 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.
6	Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя Мета: засвоєння методів параметричного впливу на характеристики лазерного променя. Керування Література: базова [1] стор. 176-181; [2], През. 4 сл. № 7-27; [3] Література додаткова: [5] стор. 38-56. [8] <u>Завдання на СРС 1:</u> Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Описати та визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Пояснити причини їх дії. <u>Завдання на СРС 2:</u> Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням. <u>Завдання на СРС 3:</u> Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу? <u>Завдання на СРС 4 :</u> Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка?
7	Тема 2.4. Засоби нелінійної оптики для керування інтенсивності променя в зоні опромінення Пасивні затвори, як засіб підвищення інтенсивності променя. Часові та енергетичні наслідки впливу пасивних затворів на промінь.

	Мета: Розширення можливостей лазерного променистого інструменту на нових представленнях природи світла <u>Завдання на СРС:</u> визначити тип кристалів, здатних впливати на промінь та залежність початкової його прозорості на характеристики променя.
8	Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки Мета: Оволодіння впливом на матеріал заготовки для керування явищами при його руйнуванні. Можливості керування результатом опромінення, комбінуючи схему теплового впливу на матеріал в зоні опромінення та за її межами. Література: базова [3], Література додаткова: [5, 8] <u>Завдання на СРС:</u> Знайдіть можливість комбінованого режиму подання променистої енергії в оброблювальну зону матеріалу заготовки. Література базова: [3]
Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО	
9	Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин: Мета: Аналіз структури ТОС для визначення напрямків вдосконалення технологічної операції ЛРО: Засоби стабілізації поглинання випромінювання поверхнею заготовки. Підвищення ефективності операцій. Література: базова - [3], [4] Література додаткова: [8] <u>Завдання на СРС 1:</u> Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Описати та визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Пояснити причини їх діяння. <u>Завдання на СРС 2:</u> Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням. <u>Завдання на СРС 3:</u> Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу? <u>Завдання на СРС 4:</u> Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка? <u>Завдання на СРС 5:</u> Класифікація засобів та способів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається. <u>Завдання на СРС 6:</u> 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).
10	Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин Мета: • 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, [4] Література додаткова: [8] <u>Завдання на СРС 1:</u> 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). <u>Завдання на СРС 2:</u> 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). <u>Завдання на СРС 3:</u> 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. <u>Завдання на СРС 4:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу контурного вирізання порожнин з простим за формою попереком (круглої, багатогранної форми, подовжнього пазу) у випадку недостатності енергетичних властивостей <u>Завдання на СРС 5:</u> Розробити схему або конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу усунення тріщин біля обробленого лазерним променем елементу виробу із схильних до розтріскування матеріалів внаслідок своїх теплофізичних і механічних властивостей або складу та структури. <u>Завдання на СРС 6:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу формування порожнини методом трепанації за умови відсутності програмно керуваного відносного переміщення інструмента та заготовки.. <u>Завдання на СРС 7:</u> 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). <u>Завдання на СРС 8:</u> Запропонувати схему технологічної операції, в якій використано додатковий вплив на розплавлений матеріал заготовки в оброблювальній порожнині (надлишковий тиск,

10	вакуум, енергія полів, сили інерції, тощо) та пристрою для її реалізації (схематично або конструктивно) (за вибором студента). <u>Завдання на СРС 9:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу поєднання впливу на теплопровідність матеріалу заготовки (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. <u>Завдання на СРС 10:</u> Розробити конструкцію дзеркального пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу доопрацювання обробленої порожнини зворотнім діям лазерного променя, який залишився невикористаним після виходу із порожнини з тилу заготовки або при подачі додаткових імпульсів. Необхідно передбачити можливість оперативного змінення конфігурації дзеркальної поверхні для створення можливості керування позовдовжнім профілем оброблювальної порожнини. <u>Завдання на СРС 11:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації електролазерного методу формування отвору з можливістю оперативного (автоматизованого) змінення діелектричної прокладки та додаткового електроду
11	Тема 3.3. Способи обробки надглибоких мікро отворів. Мета: Що заважає формування отворів з аспектною глибиною більше ніж 10 (h/d)? Шляхи підтримання потрібного рівня інтенсивності променя на дні лунки, що обробляється. Рішення цих проблем - переналадженням відносного положення фокусуємого елементу та заготовки; - «втягуванням» каустики променя застосуванням трансфокаторів (дискретного та плавного); - використанням надпотужних лазерних променів із інтенсивністю, більшою ніж потрібна для випаровування матеріалу заготовки на дільниці каустики, яка дорівнює або більше глибини лунки або товщини заготовки у зоні розташування отвору, що обробляється; Література базова: [4] стор. 173-201; [4] Література додаткова: [8] - використання режиму газолазерної обробки. <u>Завдання на СРС 1:</u> Ознайомитися з принципами нелінійної оптики. Визначити умови створення багато фотонного поглинання в діелектриках. <u>Завдання на СРС 2:</u> Явище само концентрації високо інтенсивних променів в діелектриках: припущення механізму цього явища.
11	Тема 3.4. Особливі шляхи та об'єкти автоматизації лазерних технологічних операцій. Приклади реалізації та перспективи. Мета: Методи та засоби оперативного керування параметрами лазерного променя під час виконання ТО. Література: базова - [1], сл. № 21-34, [4], стор. 26 – 79, стор. 81 – 104 [2] додаткова: [1] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21 <u>Завдання на СРС 1:</u> Визначити або створити методику керування режимами лазерного опромінення в середині резонатора [4] <u>Завдання на СРС 2:</u> Визначити або створити методику визначення режимів лазерного опромінення в оптичній системі транспортування лазерної енергії до оптичної перетворювальної системи (ОПС). <u>Завдання на СРС 3:</u> Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування отворів діаметром більше 0.4 мм <u>Завдання на СРС 4:</u> Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки вирізання (по товщині заготовки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів. <u>Завдання на СРС 5:</u> Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання отворів. <u>Завдання на СРС 6:</u> Розробити пристрій для комбінованої електро лазерної обробки в операції трепанації. <u>Завдання на СРС 7:</u> Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.:
12	Тема 3.5. Використання особливостей інструмента – лазерного променя – для адаптивної форми організації ТО Мета: Визначити шляхи активного контролю при лазерній розмірній обробці - Контроль непрямих показників\ - Вимірювання рівня показника із критерієм оптичними засобами - Вимірювання рівня показника із критерієм за його пропускної здатності газу (повітря) Керування розміром контролюємого показника за рахунок: • Змінення енергетичного показника променя • Керування розміром зони опромінення: • Параметрами променя у резонаторі лазера - Впливу на променеу заготовку інструменту на шляху до ОПС - Використання змінного характеру позовдовжнього профілю каустики променя після його перетворення в ОПС Література: базова [1] сл. 10 - 32; [4] стор. 532 - 558, додаткова [6, 7, 8] <u>Завдання на СРС 1:</u> Розробити методику проектування ємкісного позиціонеру 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 непрозором 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 непрозором 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 датчика 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 елемента 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 різку 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.

Розділ 4. Точність розмірних результатів ТО ЛРО

	Мета: ТОС та елементарними їх параметрами. Числові характеристики показника точності Поняття точності та похибки розмірів обробки. Сумарна похибка технологічної операції ЛРО. Її класифікація за учасниками. Література: базова - [1] стор. 243-245; [2] През. №8, сл. № 3-8; додаткова [8] <u>Завдання на СРС 1:</u> 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? Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки? 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). Які складові частини ТОС приймають участь у формуванні похибки обробки. Яким чином початкові нестабільності процесу відбиваються у коливанні вихідних його показників? Наведіть розмірність коефіцієнтів трансформації моделі точності процесу лазерної розмірної обробки. За яких умов допустима лінеаризація моделі точності та для чого це робиться? Числові характеристики показника точності за умови його нормального розподілу. На який підставі результати обробки вважаються випадковими нормально розподіленими величинами? <u>Завдання на СРС 2.</u> Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки?
13	Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Мета: Особливості показників точності елементів, які одержано лазерною обробкою. Обробка на “налагоджених” станках та з адаптивною організацією операції. Розрахунково-аналітичний метод прогнозного визначення рівня точності. Література: базова – [1] стор. 244-249, [2] През. №8, сл. № 9-37, додаткова: [7, 8] <u>Завдання на СРС</u> Моделювання процесу обробки для визначення сумарної похибки обробки. Представлення ТОС у вигляді системи, що перетворює. 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?
13	Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Мета: Джерела нестабільностей інструмента – пучка лазерного випромінювання. Література: базова – [1] стор. 249-258, [2] През. №8, сл. № 12-23, додаткова: [5] <u>Завдання на СРС 1:</u> 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: докажіть необхідність високого рівня густини потужності для цього механізму руйнування та переривів для евакуації продуктів ерозії з порожнини отвору, що обробляється. <u>Завдання на СРС 2:</u> Розрахуйте похибку імпульсної енергії випромінювання твердотілого лазера на гранаті, яку визиває коливання напруги 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? <u>Завдання на СРС 3:</u> 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 $\tau = 1,0$ мс, що визначає тривалість імпульсу $\tau = 300$ мкс. <u>Завдання на СРС 4:</u> 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? <u>Завдання на СРС 5:</u> 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. <u>Завдання на СРС 6:</u> 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 5.107 Вт/см² у передній частині, та 6.105 – у задній. Які засоби боротьби з цим джерелом похибки можете запропонувати? <u>Завдання на СРС 7:</u> Поясніть причини нестабільності кута розходження пучка випромінювання. Розрахуйте її числову характеристику для випромінювача на гранаті $\varnothing 6$ 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 $P_p = 500$ Вт).]
13	Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО (подовження) Мета 1: 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 позиціювання 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 окремі 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 4.2.3. Нестабільність заготівки. Мета 2: Оцінка впливу параметрів заготовки на точність ТО ЛРО Література: базова – [1], стор. 258-269; [2], През. №3, сл. № 24-36-38, [4], додаткова: [4] 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?
14	Тема 4.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем. Мета: Коефіцієнти трансформації перетворюючої системи. Визначення їх величин та значень. Завдання на СРС : 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? Література: базова – [1] стор. 269-272; [2] През. №8, сл. № 39-41; [4]
14	Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції Мета: Методи 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] Завдання на СРС 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.
15	Тема 4.5. Можливості використання штучного інтелекту (ШІ) для прогнозування та керування точністю ЛРО? Мета: Структура та використання ШНМ Література: базова [1] стор. 272-277; [2] През. №8, сл. № 42-48; [4] Завдання на СРС. 1. Визначити елементний склад ШІ для аналізу структури сумарної похибки результатів ТО ЛРО. 2. Структура ШНМ для аналізу якості операцій лазерної поверхневої обробки.

	3. Структура сумарної похибки ТО відповідно до шляху її визначення: - перетворювальною системою - через ШНМ.
--	--

Практичні заняття

Основні завдання практичних занять полягають у формуванні у студентів практичних навичок і умінь

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Тема 1.1 Вибір типу, складу, компоновання лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі заздалегідь обраної схеми обробки, визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення Мета: Навичка компоновання ЛТУ при її спеціалізації Література базова: [1] стор. 152-157; [2] През. 2, сл. № 3-4 Завдання на СРС: 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
1	Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного обрання випромінювача ЛТУ та виду його генерації Мета: Навчання спеціаліста керуванням видом теплового джерела шляхом обрання властивостей довжини хвилі променя. Література базова: - [1] стор. 147-151; [2] През. 1, сл. № 15-28; [3] стор. 134 -146, [4] Завдання на СРС: 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..
2	Тема 1.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнування її матеріалу. Мета: Оптимізація складу, типу лазера та компоновки ЛТУ на сучасних технологічних пристосуваннях. Література базова: [1] стор. 152-157; 168-170; [2] През. 2, сл. № 3-24; [4]] Завдання на СРС: Проаналізуйте методи доопрацювання конструкцій лазерів на кристалічних елементах з метою поліпшення їх технологічних здібностей.
2	Тема 1.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ Автоматизація та адаптивна організація технологічної операції. Послідовність переходів у технологічній операції з різними формами адаптивної організації. Мета: Модернізація знань в зв'язку прогресивним тенденціям в лазерній техніці та технологіях Література базова: - [1] стор. 158-162; 80 82; [2] През. 3 сл. № 3-10 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?
3	Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера. Додаткова апаратура, методика та порядок дій. Центрування оптичної системи. Тема: Етапи налагодження ЛТУ для реалізації розробленої операції Література базова: - [2] През. 4, сл. № 3-6, [3 Література додаткова: -[8] Завдання на СРС: Порівняти точність юстирування резонатора та центрування ОС за запропонованою методикою та з допомогою коліматора.
3	Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя Мета: засвоєння методів параметричного впливу на характеристики лазерного променя. Керування Література базова: [1] стор. 176-181; [2], През. 4 сл. № 7-27; [3] Література додаткова: [5] стор. 38-56. [8] 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.
4	Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки Мета: Оволодіння впливом на матеріал заготовки для керування явищами при його руйнуванні. Можливості керування результатом опромінення, комбінуючи схему теплового впливу на матеріал в зоні опромінення та за її межами. Література базова: [3] Завдання на СРС: Знайдіть можливість комбінованого режиму подання променистої енергії в оброблювальну зону матеріалу заготовки.
4	Контрольна модульна робота 1
5	Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

	Мета: • 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 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).
5	Тема 3.3. Способи обробки надглибоких мікро отворів. Мета: Що заважає формування отворів з аспектною глибиною більше ніж 10 (h/d)? Шляхи підтримання потрібного рівня інтенсивності променя на дні лунки, що обробляється. Рішення цих проблем - переналагодженням відносного положення фокусуємого елементу та заготовки; - «витагуванням» каустики променя застосуванням трансфокаторів (дискретного та плавного); - використанням надпотужних лазерних променів із інтенсивністю, більшої ніж потрібна для випаровування матеріалу заготовки на дільниці каустики, яка дорівнює або більше глибини лунки або товщини заготовки у зоні розташування отвору, що обробляється; - використання режиму газолазерної обробки. Література базова: [4] стор. 173-201; Завдання на СРС 1: Ознайомитися з принципами нелінійної оптики. Визначити умови створення багато фотонного поглинання в діелектриках.
6	Тема 3.4. Особливі шляхи та об'єкти автоматизації лазерних технологічних операцій. Приклади реалізації та перспективи. Мета: Методи та засоби оперативного керування параметрами лазерного променя під час виконання ТО. Література: базова - [1], сл. № 21-34, [4], стор. 26 – 79, стор. 81 – 104 [2] Завдання на СРС 1: Визначити або створити методику керування режимами лазерного опромінення в середині резонатора [4]
6	Тема 3.5. Використання особливостей інструмента – лазерного променя – для адаптивної форми організації ТО Мета: Визначити шляхи активного контролю при лазерній розмірній обробці - Контроль непрямих показників\ - Вимірювання рівня показника із критерієм оптичними засобами - Вимірювання рівня показника із критерієм за його пропускної здатності газу (повітря) Література: базова [1] сл. 10 - 32; [4] стор. 532 - 558, Завдання на СРС: 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.
7	Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції Мета: Методи 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] Завдання на СРС 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
7	Контрольна модульна робота 2

Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять полягають у практичному закріпленні головних тем навчальної дисципліни, які вивчено теоретично. В зв'язку з тим, що її головним завданням є надання знань та умінь прогнозування результатів та проектування технологічної операції, то всі лабораторні роботи пов'язано з цією діяльністю фахівця.

№ з/п	Назва теми лабораторного заняття (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
1	Лабораторна робота № 1. Юстирування резонаторів технологічних лазерів. Методика, обладнання, алгоритм Література: базова – [6], лаб. роб. №1	6
2	Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів пучка випромінювання. Методика процедури, вимірювальна апаратура, методика статистичної обробки експериментальних даних, алгоритм Література: базова – [6], лаб. роб. №2	6
3	Лабораторна робота № 3. Опанування методиками параметричного керування характеристиками інструмента – пучка лазерного випромінювання	2
9	Захист лабораторних робіт	2

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	10
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	16	1.5	25
Підготовка до МКР	2.5	4	10
Підготовка до заліку			
Підготовка до екзамену		36 (18)	30
Всього			90

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/NjUzODEwMTg3MjE0?cjc=чччччччч>).

2. Практичні заняття проводяться в комп'ютерному класі кафедри. У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Допускається використання власних ноутбуків. У разі дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету.

3. У разі спізнання на пару, студенту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас, 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. Користуватися мобільними телефонами під час складання екзамену не дозволяється.

5. До екзамену допускаються студенти, які виконали усі практичні завдання та здали модульну контрольну роботу.

6. 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 та здали модульну контрольну роботу.

7. В усіх інших питання слухач повинен керуватися Правилами внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського та Положенням про академічну доброчесність КПІ ім. Ігоря Сікорського.

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

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.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	7	2	14
Лабораторні роботи	3	$2 \times 10 + 1 \times 4$	24
МКР	1	17	14
Всього			100

1. Критерії нарахування балів:

1.1. Робота на практичних заняттях:

- активна творча робота – **2 бали** $\times 7 = 14$;
- робота з позитивним результатом – **1 бал** $\times 7 = 7$;
- пасивна робота – **0 балів** $\times 0$.

1.2. Виконання лабораторних робіт:

Лаб. робота № 1

- бездоганна робота – **10 балів**;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – **6 балів**;
- робота не виконана або не захищена – не зараховано.

Лаб. робота № 2:

- бездоганна робота – **10 балів**;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – **6 балів**;
- робота не виконана або не захищена – не зараховано.

Лаб. робота № 3:

- бездоганна робота – **4 бали**;
- є певні недоліки у підготовці та/або виконанні роботи – **3 балів**;
- робота не виконана або не захищена – не зараховано

1.3. Виконання модульної контрольної роботи (МКР):

- правильно виконана робота – **17 балів**;
- роботу виконано з незначними помилками – **14-16 балів**;
- роботу виконано зі значними помилками – **10-12 балів**;
- роботу не виконано або є грубі помилки – не зараховано.

3. Умовою позитивної першої атестації (на 8 тижні) є отримання не менше **11 балів** та виконання першої лабораторної роботи (на час атестації).

4. Умовою позитивної другої атестації (на 14 тижні) – отримання не менше **22 балів**, виконання другої роботи (на час атестації).

5. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт та стартовий рейтинг r_c не менше 26 балів.

6. На екзамені студенти виконують *письмову контрольну роботу* або дають *усну відповідь*. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне завдання складено з Переліку запитань до екзамену з кредитного модулю. Кожне запитання оцінюється у **16 балів** за такими критеріями:

- «**відмінно**», повна відповідь, не менше **90%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – **16-15 балів**;
- «**добре**», достатньо повна відповідь, не менше **75%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – **14-12 балів**;
- «**задовільно**», неповна відповідь, не менше **60%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – **11-10 балів**;
- «**незадовільно**», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – **0 балів**.

7. Розрахунок шкали семестрового рейтингу:

$$r_c = (\sum r_k + \sum r_z + \sum r_{sh}) = 7 \times 2 + (10 \times 2 + 1 \times 1) + 17 = 52 \text{ бали}$$

$$RD = r_c + r_E = (\sum r_k + \sum r_z + \sum r_{sh}) + r_E = 52 + 48 = 100 \text{ балів}$$

8. Студенти, що з поважних причин мають пропуски лекційних, лабораторних занять допускаються до здавання робіт лише за наявності медичної довідки.

9. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Стартовий рейтинг $r_c \leq 26$ балів Є не зараховані лабораторні роботи	Не допущено

9. Додаткова інформація з освітнього компоненту.

Перелік завдань до СРС видається студентам на початку семестру, чітко повідомляються вимоги до самостійної роботи, строки її виконання, правила оформлення, критерії рейтингового оцінювання.

Всі питання, винесені для самостійного опанування, студенти мають оформлювати у вигляді стислого конспекту. Дата здачі СРС повідомляється на початку семестру.

Бали за рейтинговою системою проставляються у Кампусі в розділі Поточний контроль, результати атестації в розділі Атестація. Екзаменаційна відомість створюється і заповнюється в Кампусі, доступ до неї існує упродовж дня екзамену (виправлення і перездача наступного дня не допускаються).

Засоби змішаного навчання. При вивченні даної дисципліни студенти повинні самостійно пройти комп'ютерне тестування для перевірки своїх знань при підготовці до модульної контрольної роботи. При вивченні даної дисципліни використовуються навчальні посібники, друкований і електронний підручник, які розміщені в classroom.google.

Спілкування з викладачем через WhatsApp та Viber, електронну пошту.

Перелік запитань до контрольних робіт та семестрового контролю наведено в Додатках:

- перелік питань, які виносяться до модульної контрольної роботи, наведено в Додатку А силлабусу
- на письмовий або усний екзамен **off-line** виносяться питання, які викладено у Додатку В до силлабусу
- екзамен в умовах **on-line** проводиться у тестовому режимі (тести викладено в Додатку С силлабусу ЛРО) за методикою оцінювання, яку наведено у п.6 розділу 8

Робочу програму навчальної дисципліни (силлабус):

Складено: професор Котляров В.П.

Ухвалено

кафедрою лазерної техніки та фізико-технічних методів обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №16 від 18 червня 2025 р.);

Погоджено:

Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 11/25 від 26. червня 2025 р.)

Перелік завдань на модульні контрольні роботи:
Тема 1. Технологічні основи вибору лазерного технологічного обладнання

Завдання 1

Перерахувати технологічні критерії вибору лазерного технологічного устаткування. Як впливає характер поглинання променистої енергії на вибір типу випромінювача? Чим відрізняються лазери з активною речовиною іон неодиму (Nd^{+3}) на базі аморфної (скляної) та кристалевої матриці за режимом випромінювання. Які переваги у випромінювачів різних типів?

Завдання 2

Проаналізувати особливості обробки на налагоджених станках та за адаптивною схемою організації операції. Навести умови їх ефективного використання.

Завдання 3

Які дві різновидності адаптивної організації технологічної операції використовують для обробки отворів пучком лазерного випромінювання? Яким чином досягається точність обробки за кожною з цих схем?

Завдання 4

Перерахувати типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання.

Завдання 5

Навести алгоритм виконання та приклади виконання операції з адаптивною її організацією при обробці отворів з нормованим кінцевим сумарним результатом.

Завдання 6

Навести алгоритм виконання та приклади виконання операції з адаптивною її організацією при обробці системи точних отворів.

Завдання 7

Як організаційно будуються технологічні операції лазерної обробки отворів з контролем дійсного їх розмірів за допомогою пневматичних датчиків тиску або розходу? Які технологічні фактори використовується як керуючі для рішення різноманітних технологічних завдань?

Завдання 8

Навести схему ЛТУ для обробки в адаптивному режимі:

- заготовки з одним отвором, яка має форму, доступну для герметизації внутрішньої порожнини.

Завдання 9

Навести схему ЛТУ для обробки в адаптивному режимі:

- заготовки простої форми (диск, пластина, тощо) з одним отвором.

Завдання 10

Навести схему ЛТУ для обробки в адаптивному режимі:

- заготовки довільної форми з багатьма отворами.

Тема 2. Методи реалізації технологічного режиму обробки

Завдання 11

За якими чинниками потрібно застосовувати особливі (параметричні) методи налаштування режиму роботи лазера?

Що є причиною багатостороннього впливу енергії накачування на енергію імпульсу випромінювання?

Завдання 12

Чому деякі експлуатаційні характеристики лазерного випромінювача мають ефект насичення при зростанні аргументу? Що покладено в основу параметричного керування енергетичними параметрами пучка випромінювання?

Завдання 13

Навести засоби параметричного керування характеристиками пучка лазерного випромінювання: енергією або потужністю випромінювання.

Завдання 14

Які резонаторні або поза резонаторні методи параметричного керування кутом розбіжності пучка випромінювання використовуються? Оптичні перетворюючі пристрої (телескопи лінзові та дзеркальні).

Завдання 15

Яким чином та через який елемент лазера можна дискретно керувати часовими характеристиками випромінювання? Для чого потрібна стабілізація мікро структури імпульсу вільної генерації (СГ) шляхом модуляції добротності резонатора випромінювання?

Завдання 16

Чим можна параметрично змінювати поперечний розмір пучка випромінювання? Навести схему пристрою для такого керування пучком випромінювання. Що дає використання такого типу випромінювача?

Тема 3. Вдосконалення методів та технологічних схем ЛРО

3.1. Визначення напрямків вдосконалення технологічної операції ЛРО

Завдання 17

Провести класифікацію способів та заходів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається. В яких випадках застосовується етап вдосконалення операції алгоритму її проектування?

3.2. Прийоми вдосконалення технологічної операції ЛРО

Завдання 18

Навести відомі або розробити оригінальні приклади схем обробки або конструкцій засобів підвищення ефективності операцій обробки отворів.

Завдання 19

Навести відомі або розробити оригінальні приклади схем обробки або конструкцій засобів підвищення якості операцій лазерної обробки отворів.

Завдання 20

Навести відомі або розробити оригінальні приклади схем обробки або конструкцій засобів підвищення продуктивності операцій лазерної обробки отворів

Завдання 21

Навести методи вдосконалення відносного позиціювання пучка випромінювання та заготовки з метою полегшення переходу та підвищення його якості.

Завдання 22

Порівняти «мікроскопний» метод налагодження відносного положення

заготовки та пучка випромінювання за методом подвійного зображення. Які переваги у останнього? Які шляхи подальшого його вдосконалення?

Завдання 23

Навести шляхи автоматизації операцій лазерної розмірної обробки. Який головний мотив процедури автоматизації? За якими ознаками протікання процесу обробки можна оцінювати його якість?

Завдання 24

Навести приклади автоматизованих ЛТУ з адаптивною організацією процесу обробки (обробка отворів в кульках).

Тема4. Прогнозне оцінювання якісних показників технологічної операції лазерної розмірної обробки.

4.1. Моделювання показників якості технологічної операції ЛРО

Завдання 25

Привести загально технологічні поняття терміну «точність» обробки. Яку точність обслуговує технологія обробки? Перерахувати комплекс показників, за якими оцінюється загальна точність обробки. Навести приклади виробів з різними наборами показників точності.

Порівняти поняття точності та похибки обробки; за яким із цих критеріїв доцільніше досліджувати точність технологічної операції?

Завдання 26

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

4.2. Сумарна похибка розмірів порожнин після ЛРО.

Завдання 27

Пояснити принцип суперпозиції при його використанні для побудови моделі точності технологічної операції. Що таке перетворююча система як підстава для побудови постулованої моделі. Навести склад перетворюючої системи, яка повинна замінити Технологічну Систему, що Обробляє (ТСО).

Завдання 28

Які складові частини ТОС приймають участь у формуванні похибки обробки. Яким чином початкові нестійкості процесу відбиваються у коливанні вихідних його показників? Навести розмірність коефіцієнтів трансформації моделі точності процесу лазерної розмірної обробки. За яких умов допустима лінеаризація моделі точності та для чого це робиться? Навести числові характеристики похибки обробки за умови її нормального розподілу. На який підставі результати обробки вважаються випадковими нормально розподіленими величинами?

Завдання 29

Провести класифікацію сумарної похибки обробки отвору пучком лазерного випромінювання. Нестабільність яких загальних параметрів процесу є базовим для її побудови? До якого рівня треба деталізувати елементарні похибки, щоб мати змогу спростити вигляд моделі точності обробки?

Порівняйте склад одержаної структури похибок з цим для механічної обробки отвірів свердленням.

Завдання 30

Проаналізувати структуру складових частин похибки, яку вносять коливання параметрів пучка випромінювання. Навести джерела нестійкостей параметрів інструменту для найбільш

пристосованого для розмірної обробки отворів лазера на твердому тілі. Які зміни відбудуться у складі похобки за умов використання газових CO₂ лазерів? Підібрати розрахункові залежності для оцінки початкових нестабільностей, використовуючи рівняння посилення потужності електромагнітної хвилі у резонаторі, заповненому газовою сумішю.

Завдання 31

Обґрунтувати необхідність імпульсного режиму опромінювання для розмірної обробки з випаруванням матеріалу заготовки: доказати необхідність високого рівня густини потужності для цього механізму руйнування та перервів для евакуації продуктів ерозії з порожнини отвору, що обробляється.

Яка найважливіша та найгірша властивість імпульсу випромінювання вільної генерації (ВГ). Навести причини цього явища та можливі наслідки використання такого режиму генерації у розмірній обробці. Які засоби урахування цієї нестабільності або її виключення з балансу початкових джерел можна використовувати під час проектування технологічної операції?

Завдання 32

Розрахувати характеристики нестабільності рівня імпульсної енергії випромінювання твердотільного лазера на гранаті, яку визиває колювання напруги накачки 20В за її середнім значенням $U = 1850 \text{ В}$ та рівнем енергії $E = 2 \text{ Дж}$ (ємність формуючої лінії накачки $C = 300 \text{ мкФ}$).

Яку похибку також потрібно враховувати для кристалічних матриць активних середовищ. Розрахувати її величину для випадку нагріву матриці гранату до середньої температури $T = 550^\circ\text{C}$ з її колюванням у інтервалі $\Delta T = 5^\circ\text{C}$.

Завдання 33

Проаналізувати чинники колювання загальної тривалості імпульсу випромінювання. Розрахувати її чисельну характеристику для випромінювача на неодимовому склі, який працює з рівнем енергії $E = 2,5 \text{ Дж}$ (накачка ємності 150 мкФ до $U = 1675 \pm 10 \text{ В}$) та тривалості накачки $\tau = 1,0 \text{ мс}$, що визначає тривалість імпульсу $\tau = 300 \text{ мкс}$.

Завдання 34

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?

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.

Обґрунтувати характер впливу подовженого спаду інтенсивності у кінцевій частині імпульсу на якість обробки. За якою розрахунковою схемою можна передбачити похибку з цієї причини? Визначити її величину для випадку опромінювання зразка із сталі 45 імпульсом випромінювання тривалістю 500 мкс із тривалістю задньої частиною 100 мкс за умови концентрації енергії у зону діаметром 0,01 мм до інтенсивності $5 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$ у передній частині, та $6 \cdot 10^5$ – у задній. Які засоби боротьби з цим джерелом похибки можете запропонувати?

Завдання 35

Пояснити причини нестабільності кута розходження пучка випромінювання. Розрахуйте її числові характеристики для випромінювача на гранаті Ø6 мм та довжиною $l = 100 \text{ мм}$ з полу конфокальним резонатором ($L = 500 \text{ мм}$ та $R_{100\%} = 1000 \text{ мм}$), який збуджується накачкою потужністю $P_n = 2000 \pm 20 \text{ Вт}$ (пори́г генерації $P_n = 500 \text{ Вт}$).

Завдання 36

Систематизувати та проаналізувати 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 кількість помилок оператора? Які новітні методи виконання деяких технологічних прийомів пропонуються.

Завдання 37

Наведіть приклади розрахунків помилок позиціювання пучка випромінювання та заготовки. Які з них є систематичними та за яких умов вони можуть бути скороченими або усунутими? Проаналізувати детально похибки візуального виконання цієї операції та доказати, що деякі з них є об'єктивними наслідки проявлення хвильової та корпускулярної теорії світла.

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 38

Які похибки з'являються під час налагодження режиму випромінювання? Від чого залежить точність настройки енергетичного режиму, і як впливають параметри використаних приладів на якість виконання переходу?

Навести 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 39

Проаналізувати можливі похибки у положенні заготовки під час її розташування у робочій зоні. До яких наслідків ведуть окремі 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.

Завдання 40

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 розмірів та форми отворів після лазерної обробки? Які об'єктивні висновки можна зробити до якості попередньої операції щодо впливу її похибок на якість лазерної обробки?

Чи значуще впливають коливання рівня поглинання променистої енергії поверхнею заготовки на результати прошивки отворів? Запропонувати ефективні методи стабілізації оптичних властивостей поверхні.

Які висновки можна зробити щодо впливу неоднорідностей структури та складу матеріалу на його здатність до обробки, та що рекомендувати для оптимальної організації операції?

4.3. Нережимні методи підвищення точності ЛРО.

Завдання 41

Яким чином знаходяться коефіцієнти трансформації перетворюючої системи, яка заміняє ТОС під час аналізу точності обробки? Докажіть, що аналітичні методи більш доцільні для цього.

Яким чином можна використати залежності для визначення величини коефіцієнтів трансформації на етапі оптимізації режиму виконання технологічної операції?

Завдання 42

Виконати аналіз структури сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів. Які складові частини перевершують інші? Приведіть приклади, яким чином можна знизити вплив початкових нестабільностей на величину сумарної похибки. Які конструктивні рішення створюють в результаті аналізу структури похибки? Розрахувати складові частини сумарної похибки для такого варіанту обробки:

- заготовка – сталь 18Х2Н4ВА, завтовшки $\delta = 2^{+0,15}$ мм;

- *отвір – $\varnothing 0,25 \pm 0,01$ мм*
- *режими обробки розраховуються за схемою №2 Steffen'a.*

Завдання 43

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

- вдосконаленням технологічного обладнання - як?;
- використання методів параметричного впливу на пучок випромінювання – як?;
- вдосконалення методів налагодження технологічної схеми опромінювання – як?;
- підвищення вимог до якості заготовки - яким чином?;
- використання адаптивних форм організації технологічної операції – які форми застосовуються?

Перелік питань до екзамену з навчальної дисципліни

1. Навести засоби автоматизації переходів операцій лазерної обробки з виміром розміру отвору, що обробляється, під час обробки фотоелектричними, пневматичними датчиками.
2. Описати методику адаптивної організації технологічної операції лазерної розмірної обробки за потреби одержання нормованого кінцевого сумарного результату. Навести послідовність переходів, приклади схем реалізації та результатів функціонування.
3. Описати методику адаптивної організації технологічної операції лазерної розмірної обробки за потреби одержання системи отворів з нормованою величиною похибки кожного. Навести послідовність переходів, приклади схем реалізації та результатів функціонування.
4. Навести схему адаптивної системи для одержання системи точних отворів з пневматичними засобами контролю їх розмірів під час обробки (заготовки із одним отвором простої форми – шайба, стакан та ін.).
5. Навести схему адаптивної системи для одержання системи точних отворів з пневматичними засобами контролю їх розмірів під час обробки (заготовки із одним отвором складної форми – форсунки, витратні шайби та ін.).
6. Описати організаційний метод вдосконалення технологічної схеми обробки на лазерному технологічному обладнанні: створення операцій з адаптивною формою організації.
7. Навести методику визначення величин коефіцієнтів трансформації моделі точності лазерної розмірної обробки. Які переваги та недоліки їх визначення за аналітичними та емпіричними залежностями.
8. Описати два види адаптивної організації операцій лазерної обробки системи точних отворів, різних за кінцевою метою. Навести послідовність переходів для реалізації кожного з них.
9. Описати дві форми адаптивної організації операцій лазерної обробки отворів. Яка кінцева мета обробки та послідовність переходів для її досягнення?
10. Які недоліки при контурному вирізанні розмірних пазів, щілин? Навести відомі засоби підвищення якості лазерного операцій контурного вирізання.
11. Надати Ідеалізовану схему лазерної технологічної установки для ЛРО. Якими засобами вирішуються основні ідеї ЛТУ?
12. Навести склад сумарної похибки лазерної розмірної обробки. Навести чинники з'явлення похибок технологічної операції?
13. Проаналізувати кількісний склад сумарної похибки розмірів отворів після лазерної обробки на прикладі операції обробки отворів, що розпилюють, у форсунках дизелів. Які висновки можна зробити за аналізом складу похибки?
14. Виконати детальний розподіл складових сумарної похибки розмірів отворів після лазерної розмірної обробки за учасниками Технологічної Системи, що Обробляє (ТОС).
15. Навести класифікацію елементарних похибок сумарної похибки розмірної обробки отвору за її складовими, які пов'язані з учасниками ТОС.
16. Доказати переваги методу подвійного зображення при використанні в оптичній налагоджувальній системі для відносного позиціонування заготовки та пучка випромінювання.
17. Яка сутність методу перетворення багато критеріальної оптимізаційної задачі в одно критеріальну – з узагальненою функцією бажаності?
18. Підтвердити об'єктивну необхідність перетворення багато критеріальних задач оптимізації у одно критеріальну: на прикладі спроби проектування операції обробки отвору складного повздовжнього профілю.
19. Якими методами можливо підвищення якості результатів лазерної різки пазів та щілин?

20. Якими методами можливо підвищення якості результатів лазерної розмірної обробки – поперечної та повздовжньої форми отворів.
21. Які можливі напрямки вдосконалення технологічних операцій лазерної розмірної обробки та засоби їх реалізації?
22. На чому заснована можливість використання лазерної обробки в Гнучких Виробничих Системах? Можливість створення повністю лазерних ГВС – які операції можуть виконуватися з участю лазерного променя?
23. Навести приклади підвищення ефективності операцій лазерної розмірної обробки за рахунок використання додаткових джерел енергії. На чому засновані вигоди таких комбінованих методів?
24. Яким чином можна підвищити ефективність операцій лазерної розмірної обробки за рахунок скорочення витрат променистої енергії.
25. На чому базується підвищення ефективності операцій лазерної розмірної обробки за рахунок стабілізації умов опромінювання заготовки на високому рівні протягом операції?
26. Які недоліки має повздовжня форма отворів після лазерної обробки? Вплив режиму опромінення на якість поверхні стінок отвору, пазу. Які характеристики має шар матеріалу біля стінки отвору після його лазерної обробки?
27. Як залежать недоліки поперечної форми отворів після лазерної обробки від просторових характеристик пучка випромінювання? Які вимоги висуваються до модового складу пучка для одержання отворів правильної форми.
28. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю властивості інструмента – енергії лазерного випромінювання? Навести джерела їх появи.
29. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю властивості інструмента – кутової характеристики пучка лазерного випромінювання. Навести джерела їх появи.
30. Які складові похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю властивостей інструмента – пучка лазерного випромінювання. Навести джерела їх появи.
31. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю властивості інструмента – часових характеристик імпульсу лазерного випромінювання? Навести джерела їх появи.
32. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю розмірного параметру заготовки, що обробляється – нестабільності її товщини у зоні обробки? Навести джерела їх появи.
33. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю заготовки, що обробляється? Навести джерела їх появи.
34. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю технологічного режиму – дрейфу технологічного режиму обробки? Навести джерела їх появи та засоби зменшення.
35. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю технологічних прийомів – похибок (систематичних та випадкових) позиціонування заготовки у каустиці пучка випромінювання? Навести джерела їх появи.
36. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю технологічного прийому – похибки налагодження технологічного режиму обробки? Навести джерела їх появи.
37. Які елементарні похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю технологічного прийому – похибки розташування заготовки у робочій позиції? Джерела їх появи.
38. Які складові похибки сумарного показника пов'язані із нестабільністю технологічних прийомів, застосованих під час виконання технологічної операції? Навести джерела їх появи.
39. Навести приклад оптимізації операції лазерної обробки конічних отворів із заданою точністю та максимальною продуктивністю.
40. На яких засадах базується розрахунково-аналітичний метод прогнозного визначення рівня точності операції? Представлення Технологічної Системи, що Обробляє (ТОС) у вигляді системи, яка перетворює початкові нестабільності.
41. Навести схеми стабілізації рівня поглинання випромінювання поверхнею заготовки – нанесенням покриття із газових середовищ.

42. Навести схеми стабілізації рівня поглинання випромінювання поверхнею заготовки із дзеркальною поверхнею та із прозорого для випромінювання матеріалу.
43. Визначити чинники існування сумарної похибки операції лазерної розмірної обробки, виконати її поділ на елементарні складові.
44. Описати сучасний метод візуального налагодження відносного положення заготовки та пучка випромінювання, який використовується в ЛТУ вітчизняного та іноземного виробництва.
45. Описати методику та необхідність представлення Технологічної Системи, що Обробляє (ТОС) у вигляді системи, що перетворює початкові нестабільності її учасників в похибки технологічних показників операції. Навести вид та склад аналітичної моделі точності.
46. Які технологічні основи вибору лазерного обладнання є засадничими? Пояснити необхідність урахування характеру поглинання заготовкою випромінювання різної довжини хвилі та характеру генерації.
47. Навести технологічні умови вибору лазерного обладнання. Пояснити необхідність урахування характеру подання енергії випромінювання від випромінювачів з різним характером генерації.
48. Пояснити сенс поняття точності розмірів лазерної розмірної обробки, як технологічного показника. Яка її альтернатива допомагає дослідженню процесу обробки отворів із нормованими відхиленнями розмірів?
49. Який фізичний зміст мають коефіцієнти трансформації перетворюючої системи та яка їх розмірність?
50. Які характеристики має при поверхневий шар матеріалу у стінок отворів після лазерної обробки в заготовках із різних матеріалів?
51. Навести числові характеристики показника сумарної похибки в аналітичній моделі точності. Чому пропонується лінійна форма моделі точності?
52. Які чутливі датчики використовуються для автоматизації контрольних переходів у системах адаптивної організації операцій лазерної обробки?
53. Які засоби та шляхи підвищення ефективності лазерної розмірної обробки застосовуються в операціях ЛРО?
54. Яким комплексом якісних показників характеризуються отвори після лазерної розмірної обробки?
55. Що впливає на якість поверхні стінок порожнин. Як впливають основні параметри процесу на її характеристики?
56. Навести схему адаптивної системи для одержання системи точних отворів з пневматичними засобами контролю їх розмірів під час обробки (заготовки з великою кількістю отворів – сита, діафрагми з багатьма отворами та ін.).
-

Перелік питань до тестового варіанту складання екзамену

1.1. На якому етапі проектування технологічної операції надходить черга обрання лазерного технологічного обладнання?

Відповіді:

- A. після етапу визначення режимів обробки: тобто четвертим за чергою етапом
- B. після обрання схеми технологічної операції (третім етапом)
- C. після розробки додаткових засобів вдосконалення операції (сьомим етапом)
- D. після визначення очікуваних техніко-економічних показників операції (останнім етапом).

1.2. В якому порядку виконуються переходи технологічної операції при її реалізації в адаптивному режимі обробки системи отворів з нормованим полем розсіювання розміру кожного з них?

Відповіді:

A. порядок переходів:

- розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
- обробка чергового отвору в заготовці
- вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
- статистична обробка результату виміру, наприклад, при вимірюванні діаметру в декількох (n) радіальних напрямках: $D_{сер} = 1/n \sum D_i$
- порівняння рівня середнього значення показника (на базі вимірюваних результатів) з діапазоном його значень (з поля допуску)
- корекція режиму доробки отвору:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
- доробка отвору в заготовці

B. порядок переходів

- розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
- обробка чергового отвору в заготовці
- вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
- статистична обробка результату виміру, наприклад, при вимірюванні діаметру в декількох (n) радіальних напрямках: $D_{сер} = 1/n \sum D_i$
- порівняння рівня середнього значення показника (на базі вимірюваних результатів) з діапазоном його значень (з поля допуску)
- корекція режиму обробки отвору:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
- обробка наступного отвору в заготовці

C. порядок переходів

- розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
- обробка чергового отвору в заготовці
- вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
- порівняння рівня показника (на базі вимірюваних результатів) з діапазоном його значень (з поля допуску)

- корекція режиму доробки отвору:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
 - обробка та доробка наступного отвору в заготовці
- D. порядок переходів
- розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
 - обробка чергового отвору в заготовці
 - переміщення заготовки в положення для вимірювань
 - вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
 - статистична обробка результату виміру, наприклад, при вимірюванні діаметру в декількох (n) радіальних напрямках: $D_{сер} = 1/n \sum D_i$
 - порівняння рівня середнього значення показника (на базі вимірних результатів) з діапазоном його значень (з поля допуску)
 - корекція режиму доробки отвору:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
 - доробка отвору в заготовці, яку повернуто у робочу позицію.

1.3. Які методи діяння на заготовку сприяють підвищенню оброблюваності її матеріалу, тобто покращенню якості результатів операції?

- A. способи: подрібнення структури матеріалу в зоні обробки, створення додаткових теплових зон навколо зони обробки для зменшення градієнту температури та розтіканню тепла із неї
- B. збільшення шорсткості поверхні у зоні опромінення для зменшення дзеркальної складової відбитого променя
- C. нанесення шарів з діелектричних матеріалів на поверхню заготовки для підвищення рівня поглинутої частини енергії випромінювання
- D. використання багато імпульсного режиму опромінення

2.1. Який властивості заготовки необхідно враховувати при обранні типу випромінювача (лазера)?

Відповіді:

- A. оптичні властивості поверхні заготовки: та коефіцієнт поглинання її матеріалу
- B. коефіцієнт поглинання матеріалу заготовки
- C. шорсткість поверхні заготовки та її орієнтація відносно направлення вектору поляризації променя
- D. розміри та вимоги до якості елемента заготовки, що обробляється.

2.2. На яких підставах застосовуються методи активного контролю оброблювального отвору при ЛРО?

Відповіді:

- A. на підставі: нематеріальності лазерного променя
- B. на підставі можливості оперативного змінення інтенсивності в промені
- C. на підставі відсутності променя в оброблювальній порожнині в перервах технологічної операції
- D. в зв'язку з виявленою залежністю об'єму обробленої порожнини від сумарної для кількості імпульсів енергії випромінювання

2.3. Якими способами та засобами сприяють здобуттю отворів заданого рівня якості після їх ЛРО?

Відповіді:

- A. застосуванням додаткових переходів:
 - доопрацюванням отвору механічної прошивкою пуансоном
 - створенням середи з тепловим формуванням великого об'єму пара додаткового матеріалу в порожнині отвору
 - шляхом доопрацювання отвору додатковою трепанацією при обході його попереку

- В. застосуванням додаткових засобів
 - використання енергії променя на виході із заготовки з її повертанням у порожнину отвору дзеркалом тієї чи іншої форми
 - покриттям поверхні заготовки навколо отвору термостійкою плівкою
- С. застосуванням додаткових засобів
 - розташування заготовки на робочому столі ЛТУ з його підігрівом під час опромінення
 - опромінення заготовки, яку занурено у відповідну за властивостями рідину
- Д. застосуванням додаткових переходів доопрацювання лазерною обробкою отворів, які попередньо заповнено порошковим матеріалом або рідиною

3.1. Які властивості оброблювальної заготовки необхідно враховувати при обранні лазера для керування процесом руйнування її матеріалу та видалення останнього з оброблювальної порожнини?

Відповіді:

- А. нормований: коефіцієнт поглинання ***B*** її матеріалом
- В. теплофізичні властивості матеріалу заготовки та умови опромінення
- С. коефіцієнт поглинання поверхні заготовки ***A***
- Д. коефіцієнт поглинання Бугера - Ламберта α

3.2. Внаслідок чого можна контролювати поточний результат лазерної обробки елементу (лунки, отвору, пазу або різь) безперервно під час процесу його формоутворення, враховуючи особливі властивості оброблювального інструменту?

Відповіді:

- А. нематеріальність та прозорість лазерного променя: та його здатність проходити наскрізь через тверді та газоподібні прозорі середовища з мінімальними енергетичними витратами дозволяють використовувати пристрої: на базі пневматичних витратомірів (датчиків витрат або тиску) та фотодатчиків для виконання вимірювання або контролювання розмірів та форми елементу під час його обробки лазерним променем
- В. нематеріальність лазерного променя та його здатність проходити наскрізь через тверді та газоподібні прозорі середовища з мінімальними енергетичними витратами дозволяють використовувати пристрої на базі гідроавтоматики (датчиків витрат або тиску) та фотодатчиків для виконання вимірювання або контролювання розмірів та форми елементу під час його обробки лазерним променем
- С. прозорість лазерного променя та його здатність проходити наскрізь через тверді та газоподібні прозорі середовища з мінімальними енергетичними витратами дозволяють використовувати пристрої з фотодатчиком для виконання вимірювання або контролювання розмірів та форми елементу під час його обробки лазерним променем
- Д. висока інтенсивність лазерного променя під час розмірної обробки викликають силову реакцію заготовки, яку обробляють, та деформаційні явища в ній, що можуть корелюватися з результатом його впливу на заготовку, що може послугувати інформаційним сигналом для контролюванні поточних розмірів та форми елементу під час його обробки лазерним променем

3.3. Які етапи підготовки технологічної операції та її переходи бажано автоматизувати з метою підвищення якості та ефективності обробки отворів, лунок, пазів та різів?

Відповіді:

- А. бажано автоматизувати:
 - всі переходи технологічної операції
- В. бажано автоматизувати
 - перехід завантаження заготовки в робочу позицію
 - перехід контролю результатів обробки
- С. бажано автоматизувати
 - заходи підвищення відтворюваності результатів технологічної операції
- Д. бажано автоматизувати
 - налаштування відносного положення заготовки відносно каустики променя уздовж осі останнього
 - підтримка поглинальних здібностей поверхні заготовки

4.1. Які характеристики лазерного променя визначають обраний тип лазера в ЛТК (ЛТО) та вимоги до його режимних можливостей?

Відповіді:

- A. довжина хвилі випромінювання: часова структура подання енергії в зону обробки та ВРР променю (beam parameter product), його середня потужність
- B. діапазон керуємих діаметрів променю
- C. середня, максимальна та пічкова інтенсивність променю
- D. діапазон значень куту розходження променю

4.2. Яким чином можна керувати ефективністю процесу обробки та якістю результатів операцій ЛРО?

Відповіді:

- A. основою для підвищення ефективності операцій лазерної розмірної обробки та якості її результатів є: підвищення та стабілізація рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання, обрання ефективної схеми формоутворення оброблювальних елементів в заготовці та підтримання визначеного рівня інтенсивності в зоні обробки протягом усієї операції
- B. основою для підвищення ефективності операцій лазерної розмірної обробки є підвищення рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання, обрання ефективної схеми формоутворення оброблювального елементу в заготовці, використовуючи, наприклад, режим газу лазерного руйнування та видалення матеріалу із його порожнини
- C. основою для підвищення ефективності та якості результатів операцій лазерної розмірної обробки є стабілізація рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання та обрання ефективної схеми формоутворення оброблювальних елементів в заготовці
- D. основою для підвищення ефективності та якості операцій лазерної розмірної обробки є підвищення та стабілізація рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання та підтримання визначеного рівня інтенсивності в зоні обробки протягом усієї операції

4.3. Які властивості інструменту з лазерного променя заважають застосовувати традиційні для механообробки методи його позиціювання відносно поверхні заготовки?

Відповіді:

- A. такі властивості заважають:
 - відсутність інструменту під час виконання цього переходу операції
- B. такі властивості заважають
 - нематеріальність інструменту
- C. такі властивості заважають
 - висока інтенсивність випромінювання в межах каустики променю
- D. такі властивості заважають
 - необхідність в додатковому джерелі випромінювання видимого діапазону

5.1. Чим відрізняється часова структура імпульсів вільної генерації (ВГ), які генеруються твердо тільними лазерами з кристалевими та аморфними активними елементами?

Відповіді:

- A. в моно імпульсу променю в режимі ВГ: у лазерів на активних елементах з аморфними матрицями (скло, кварц тощо) енергія розбивається на хаотичну систему окремих пічків, тоді як у кристалевих (Al_2O_3 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ тощо) – лише модулюється на глибину 10 – 40%
- B. імпульси променю у лазерів на активних елементах з аморфними матрицями (скло, кварц тощо) складаються із регулярної системи окремих пічків, тоді як у кристалевих (Al_2O_3 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ тощо) – лише модулюється на глибину 10 – 40%
- C. імпульси променю у лазерів на активних елементах з кристалевими матрицями (Al_2O_3 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ тощо) складаються із регулярної системи окремих пічків, тоді як у аморфних (скло, кварц тощо) – лише модулюється на глибину 10 – 40%
- D. в моно імпульсу променю в режимі ВГ у лазерів на активних елементах з аморфними матрицями (скло, кварц тощо) енергія розбивається на регулярну систему окремих пічків, тоді як у кристалевих (Al_2O_3 , $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ тощо) – лише модулюється на глибину 10 – 40%

5.2. Яким чином можна керувати ефективністю процесу обробки та якістю результатів операцій ЛРО?

Відповіді:

- A. основою для підвищення ефективності операцій лазерної розмірної обробки та якості її результатів є: підвищення та стабілізація рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання, обрання ефективної схеми формоутворення оброблювальних елементів в заготовці та підтримання визначеного рівня інтенсивності в зоні обробки протягом усієї операції
- B. основою для підвищення ефективності операцій лазерної розмірної обробки є підвищення рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання, обрання ефективної схеми формоутворення оброблювального елементу в заготовці, використовуючи, наприклад, режим газу лазерного руйнування та видалення матеріалу із його порожнини
- C. основою для підвищення ефективності та якості результатів операцій лазерної розмірної обробки є стабілізація рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання та обрання ефективної схеми формоутворення оброблювальних елементів в заготовці
- D. основою для підвищення ефективності та якості операцій лазерної розмірної обробки є підвищення та стабілізація рівня поглинання поверхнею заготовки енергії лазерного випромінювання та підтримання визначеного рівня інтенсивності в зоні обробки протягом усієї операції

5.3. Які переваги має «метод подвійного зображення» в наглядово-налаштовувальних оптичних системах ЛТУ при виконанні переходу взаємного позиціювання променя та заготовки?

Відповіді:

- A. переваження визначаються:
 - легкістю виконання переходу позиціювання інструменту та заготовки
 - швидкістю виконання переходу
 - точністю позиціювання заготовки
 - малою праце витратністю переходу налаштування
- B. переваження визначаються
 - відсутністю вимог до інструментальної бази переходу
 - відсутністю особливих вимог до професіоналізму оператора
- C. переваження визначаються
 - можливістю налаштування на заготовки з поверхнею будь якої якості
 - можливістю налаштування на заготовки з поверхнею будь якої форми
- D. переваження визначаються
 - можливістю налагодження будь яких умов опромінення

6.1. Який склад повинна мати ЛТУ для ЛРО?

Відповіді:

- A. зазвичай ЛТУ для ЛРО повинна мати: лазер, технологічний блок із лазерним затвором, оптичну транспортуючу систему, оптичну перетворюючу систему із наглядовим каналом, технологічний модуль
- B. зазвичай ЛТУ для ЛРО повинна мати лазер, оптичну систему, стіл для розташування заготовки
- C. зазвичай ЛТУ для ЛРО повинна мати лазер, технологічний блок, оптичну транспортуючу систему, оптичну перетворюючу систему із наглядовим каналом, технологічний модуль
- D. зазвичай ЛТУ для ЛРО повинна мати лазер, технологічний блок та технологічний модуль

6.2. Як залежать недоліки поперечної та повздожньої форми отворів після лазерної обробки від просторових характеристик пучка випромінювання та які вимоги висуваються до модового складу пучка для одержання отворів правильної форми?

Відповіді:

- A. до похибок попереку отворів, що обробляються, відноситься: їх некруглість, а до похибок повздожньої форми – не циліндричність; перші з'являються при порушенні осевої симетрії енергетичного профілю лазерного променя, тому потрібне використання одномовних променів з гаусівим розподілом інтенсивності або багато модові промені з кільцевими модами, а другі – внаслідок суттєвого змінення рівня інтенсивності вздовж осі променя в межах товщини заготовки, в якій обробляється отвір, тому потрібно погоджувати останню з глибиною різкості об'єктиву оптичної перетворювальної системи
- B. до похибок попереку отворів, що обробляються, відноситься їх некруглість у вигляді овальності та огранювання, а до похибок повздожньої форми – не циліндричність (конусоподібність та бочко подібність); перші з'являються при порушенні осевої симетрії енергетичного профілю лазерного

променю внаслідок низької якості юстирування резонатора лазера, а другі – внаслідок помилкового обрання відносного положення заготовки вздовж осі лазерного променю у його каустиці

- C. до похибок попереку отворів, що обробляються, відноситься їх некруглість, що може бути усунене змінням операційної схеми обробки переходом до схеми з трепанацією отвору, а похибки повздожньої форми – не циліндричність (конусоподібність та бочко подібність) можуть бути зменшені внаслідок застосування багато імпульсної обробки із змінням відносного положення заготовки вздовж осі лазерного променю у його каустиці в перервах між імпульсами
- D. похибки попереку отворів, що обробляються, у вигляді їх некруглості, що може бути усунене доопрацюванням отворів шляхом їх калібрування пуансонами, а похибки повздожньої форми – не циліндричність (конусоподібність та бочко подібність) можуть бути зменшені також внаслідок застосування для їх калібрування вільного абразиву

6.3. З якою метою автоматизують перехід контролю поточного розмірного результату технологічної операції?

Відповіді:

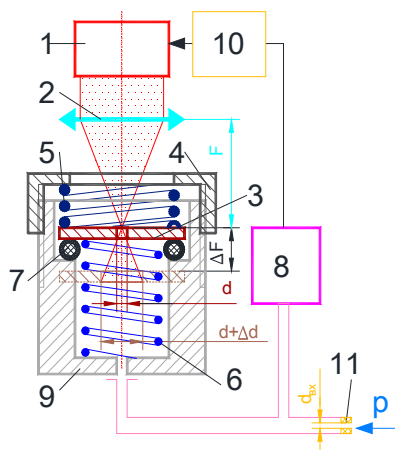
- A. для: створення за результатами контролю можливості керування процесом обробки в Системах Автоматизованого Управління технологічною операцією
- B. для моделювання процесу ЛРО отворів с метою використання в процедурі оптимізації режимів обробки
- C. для нагляду за ходом операції та обслуговування її в ручному або автоматизованому режимі
- D. для визначення кінця операції за умови досягнення розміру отвору меж поля допуску

7.1. Який обов'язковий пристрій повинно утримувати лазерне технологічне обладнання (ЛТО) (лазерна технологічна установка (ЛТУ) або лазерний технологічний комплекс (ЛТК))?

Відповіді:

- A. кожний з названих видів ЛТО повинен утримувати заслінку для лазерного променю: нормально закритий затвор
- B. кожний з названих видів ЛТО повинен утримувати дзеркальний або волоконний вузол для захищеного транспортування лазерного променю до зони опромінення на заготовці
- C. кожний з названих видів ЛТО повинен утримувати вимірювач енергетичних характеристик лазерного променю перед транспортуванням його до зони опромінення на заготовці
- D. робоча зона ЛТО названих видів повинна бути захищена непрозорими щитами

7.2. В яких випадках може застосуватися наступна схема адаптивної організації технологічної операції?



(1-лазер, 2- об'єктив, 3-заготовка, 4-кришка, 5, 6-пружини, 7-ущільнення, 8-датчик тиску, 9-корпус, 10-блок живлення лазера, 11-вхідна діафрагма)

Відповіді:

- A. у випадку: застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує один наскрізний отвір

- B. у випадку застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка виготовлена із неметалу, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує один наскрізний отвір
- C. у випадку застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує не більше двох наскрізних отворів
- D. у випадку застосування схеми формоутворення отвору трепанацією вздовж контуру отвору, якщо заготовка, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує один отвір

7.3. Які показники технологічної операції ЛРО можливі для використання при контролю її розмірної течії?

Відповіді:

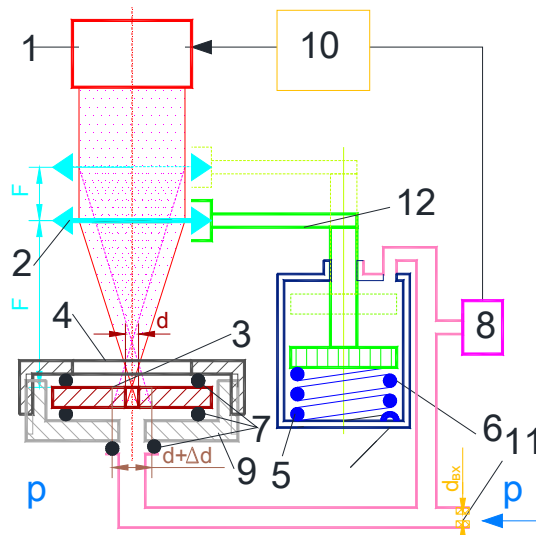
- A. наступні:
 - шум або висота ерозійного факелу
 - енергія відбитого променя додаткового лазера від верхньої поверхні заготовки (для контролю вхідної ділянки отвору)
 - енергія променя додаткового лазера, який пройшов вздовж порожнини отвору (для контролю розміру отвору на просвіт)
 - розмір площі поперек отвору шляхом контролю його пропускної здатності для стислого повітря
- B. наступні
 - тривалість процесу обробки в технологічній операції
 - розмір променя додаткового лазера, який пройшов вздовж порожнини отвору (для контролю розміру отвору на просвіт)
- C. наступні
 - ступінь іонізації ерозійного факелу
 - кількість імпульсів випромінювання, використаних для формування отвору
- D. наступні
 - кількісний склад ерозійного факелу
 - поточне змінення ваги заготовки
 - кількість імпульсів для калібрування після формування наскрізної порожнини

8.1. Як, за звичаєм, компонується ЛТУ для ЛРО системи елементів (отворів, лунок, пазів, щілин) в заготовці з габаритами до одного метра?

Відповіді:

- A. оптична система нерухома відносно лазера: стіл із заготовкою виконує робочі переміщення вздовж трьох координат
- B. оптична система виконує запрограмовані переміщення вздовж одної з координат, яка співпадає з віссю лазера, стіл із заготовкою виконує робочі переміщення вздовж інших з трьох
- C. оптична система виконує запрограмовані переміщення вздовж двох з трьох координат, які співпадають з площиною стола, останній із заготовкою виконує робочі переміщення вздовж третьої
- D. оптична система виконує запрограмовані переміщення вздовж кожної з трьох координат, дві з яких співпадають з площиною стола, третя нормальна до неї

8.2. В яких випадках може застосуватися наступна схема пристрою для адаптивної організації технологічної операції?



(1-лазер, 2- об'єктив, 3-заготовка, 4-кришка, 5-пружина, 6-пневматичний циліндр, 7-ущільнення, 8-датчик тиску, 9-корпус, 10-блок живлення лазера, 11-вхідна діафрагма, 12-важіль)

Відповіді:

- A. у випадку: застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка має форму, яка дозволяє її герметизувати у місці розташування отвору та потребує один наскрізний отвір
- B. у випадку застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка виготовлена із неметалу, має просту форму та потребує один наскрізний отвір
- C. у випадку застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує не більше двох наскрізних отворів
- D. у випадку застосування схеми формоутворення отвору трепанацією вздовж контуру отвору, якщо заготовка, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує один отвір

8.3. Який показник використовується для оцінки течії операції газолазерної обробки отвору шляхом обходу його контуру (метод трепанації)?

Відповіді:

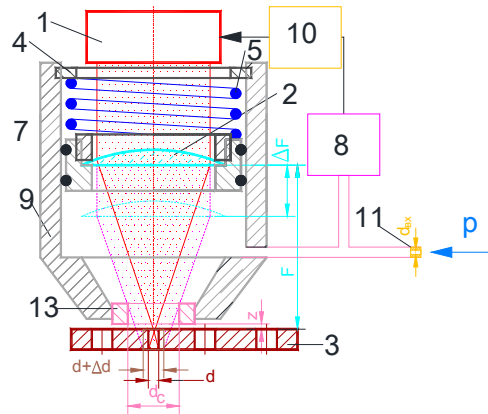
- A. напрям та розмір попереку струменю газу на виході із порожнини різь
- B. рівень тиску в струмені газу на виході із різь
- C. витрата газу через сопло різьака
- D. час наскрізного прорізання заготовки лазерним променем

9.1. Як, за звичаєм, компонується ЛТУ для ЛРО системи елементів (отворів, лунок, пазів, щілин) в заготовці з габаритами більшими одного метра?

Відповіді:

- A. оптична система виконує запрограмовані переміщення вздовж кожної з трьох координат: дві з яких співпадають з площиною стола, третя нормальна до неї
- B. оптична система нерухома відносно лазера, стіл із заготовкою виконує робочі переміщення вздовж трьох координат
- C. оптична система виконує запрограмовані переміщення вздовж одної з координат, яка співпадає з віссю лазера, стіл із заготовкою виконує робочі переміщення вздовж інших з трьох
- D. оптична система виконує запрограмовані переміщення вздовж двох з трьох координат, які співпадають з площиною стола, останній із заготовкою виконує робочі переміщення вздовж третьої

9.2. В яких випадках може застосуватися наступна схема пристрою для адаптивної організації технологічної операції?



(1-лазер, 2- об'єктив, 3-заготовка, 4-кришка, 5-пружина, 7-ущільнення, 8-датчик тиску, 9-корпус, 10-блок живлення лазера, 11-вхідна діафрагма, 13-сопло)

Відповіді:

- A. у випадку: застосування схеми формоутворення отворів шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину оброблювального отвору та заготовка має форму листа
- B. у випадку застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка виготовлена у вигляді неметалевого листа та потребує один наскрізний отвір
- C. у випадку застосування схеми формоутворення отвору шляхом випаровування матеріалу зі всього перетину отвору, якщо заготовка, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує один наскрізний отвір
- D. у випадку застосування схеми формоутворення отвору трепанацією вздовж контуру отвору, якщо заготовка, має просту плоску форму (круглу або прямокутну) та потребує один отвір

9.3. З яких позицій розглядається точність результатів технологічної операції?

Відповіді:

- A. точність: розглядається з трьох сторін:
 - конструкторська
 - метрологічна
 - технологічна
- B. точність – це ступінь відповідності реального виробу його ідеальному стану
- C. точність виробу складається з точності розмірів, точності форми поверхонь – складових виробу та точності взаємного їх розташування
- D. точність є антиподом погрішності

10.1. Який склад ЛТУ для ЛРО елементів (отворів, лунок, пазів, щілин) в металевих заготовках?

Відповіді:

- A. лазер з довжиною хвилі до 2 мкм з блоками живлення та охолодження: технологічний блок із лазерним затвором, оптична транспортуюча система, оптична перетворююча система з функцією наглядання за процесом її налаштування відносно заготовки, технологічний модуль зі столом для розташування останньої і пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат
- B. лазер з довжиною хвилі > 2 мкм з блоками живлення та охолодження, технологічний блок із лазерним затвором, оптична транспортуюча система, оптична перетворююча система, технологічний модуль зі столом для розташування останньої і пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат
- C. лазер з довжиною хвилі до 2 мкм з блоками живлення та охолодження, технологічний блок із лазерним затвором, оптична перетворююча система, технологічний модуль зі столом для розташування останньої з пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат

- D. лазер з довжиною хвилі до 2 мкм з блоком живлення та охолодження, технологічний блок , оптична транспортуюча система, оптична перетворююча система з функцією наглядання за процесом її налаштування відносно заготовки, технологічний модуль зі столом для розташування останньої з пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат

10.2. В якому з технологічних випадків адаптивна форма організації з доопрацюванням отвору шляхом збільшення розміру променю в межах довжини отвору є єдиним, що додає операції найбільшій ефективності?

Відповіді:

- A. у випадку: заготовки завтовшки $\delta \ll d$
- B. у випадку заготовки завтовшки $\delta \gg d$
- C. у випадку обробки отвору шляхом трепанації вздовж його контуру
- D. у випадку обробки отвору в теплопровідних матеріалах

10.3. Які співучасники технологічної системи, що обробляє (ТОС), роблять свій внесок в сумарну похибку (погрішність) технологічної операції?

Відповіді:

- A. на величину сумарної похибки операції впливають: похибки інструменту (лазерний промінь), верстату та його технологічного оснащення, стан оператора зі своїми методами керування та нестабільність параметрів заготовки
- B. на величину сумарної похибки операції впливають лазерний промінь, оптична система його перетворення в інструмент, технологічне оснащення та заготовка
- C. на величину сумарної похибки операції впливають інструмент, верстат, оператор та заготовка
- D. на величину сумарної похибки операції впливають оператор із недосконалими методами та засобами керування операцією, верстат та заготовка

11.1. Який склад ЛТУ для ЛРО елементів (отворів, лунок, пазів, щілин) в заготовках з неметалів?

Відповіді:

- A. лазер з довжиною хвилі > 2 мкм з блоками живлення та охолодження: технологічний блок із лазерним затвором, оптична транспортуюча система, оптична перетворююча система з функцією наглядання за процесом її налаштування відносно заготовки, технологічний модуль зі столом для розташування останньої з пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат
- B. лазер з довжиною хвилі до 2 мкм з блоками живлення та охолодження, технологічний блок із лазерним затвором, оптична транспортуюча система, оптична перетворююча система, технологічний модуль зі столом для розташування останньої з пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат
- C. лазер з довжиною хвилі > 2 мкм з блоками живлення та охолодження, технологічний блок із лазерним затвором, оптична перетворююча система, технологічний модуль зі столом для розташування останньої з пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат
- D. лазер з довжиною хвилі до 2 мкм з блоком живлення, технологічний блок, оптична транспортуюча система, оптична транспортуюча система, оптична перетворююча система з функцією наглядання за процесом її налаштування відносно заготовки, технологічний модуль зі для розташування останньої з пристроєм її закріплення, який може переміщатися або позиціюватися вздовж трьох координат

11.2. Чому змінення режиму опромінення (рівня інтенсивності в зоні обробки) шляхом впливу на енергію збудження активного середовища призводить до неконтрольованого впливу на хід технологічної операції?

Відповіді:

- A. внаслідок: різнонаправленого діяння режиму накачування на рівень інтенсивності випромінювання через енергію, тривалість імпульсу, просторові характеристики променю та змінення умов опромінення за останніх чинників
- B. внаслідок неконтрольованого впливу рівня енергії накачування на енергію лазерного імпульсу
- C. внаслідок неконтрольованого впливу рівня енергії накачування на тривалість лазерного імпульсу

- D. внаслідок неконтрольованого впливу рівня енергії накачування на кут розходження лазерного променя

11.3. Через який комплексний параметр обробки впливають учасники ТОС на результати технологічної операції ЛРО – розміри та показники якості?

Відповіді:

- A. через комплексний параметр: інтенсивність в зоні опромінення
- B. через комплексний параметр - густину енергій в зоні опромінення
- C. через комплексний параметр – розмір зони опромінення на поверхні заготовки
- D. через кількість імпульсів лазерного випромінювання, необхідних для формування отвору заданих форми та розмірів

12.1. Який склад ідеалізованої ЛТУ для ЛРО елементів (отворів, лунок, пазів, щілин) в металевих та заготовках з неметалів?

Відповіді:

- A. лазер, в резонаторі якого розташовані: активне середовище із джерелом накачування, модулятор для керування часовою структурою імпульсів випромінювання та засіб параметричного змінення діаметра променя, а за його межами на шляху останнього – вимірювач потужності прохідної конструкції, оптичний діод, оптична перетворююча система та стіл з координатним переміщенням для розташування заготовки під час обробки
- B. лазер, в резонаторі якого розташоване активне середовище із джерелом накачування та засіб параметричного змінення діаметра променя, а за його межами на шляху останнього – вимірювач потужності прохідної конструкції, оптичний діод, оптична перетворююча система та стіл з координатним переміщенням для розташування заготовки під час обробки
- C. лазер, в резонаторі якого розташоване активне середовище із джерелом накачування та модулятор для керування часовою структурою імпульсів випромінювання, а за його межами на шляху останнього – вимірювач потужності прохідної конструкції, оптичний діод, оптична перетворююча система та стіл з координатним переміщенням для розташування заготовки під час обробки
- D. лазер, в резонаторі якого розташовані: активне середовище із джерелом накачування, модулятор для керування часовою структурою імпульсів випромінювання та засіб параметричного змінення діаметра променя, а за його межами на шляху останнього – вимірювач потужності прохідної конструкції, оптична перетворююча система та стіл з координатним переміщенням для розташування заготовки під час обробки

12.2. Які особливості залежностей часових характеристик лазерних імпульсів та просторових властивостей променя (кутових та розмірних) можна використати для параметричного впливу на рівень інтенсивності в зоні опромінення?

Відповіді:

- A. насиченість характеристик: починаючи з деякого значення рівня енергії накачування активного середовища
- B. незмінність протягом часу накачування активного середовища
- C. лінійна залежність характеристик від рівня енергії накачування активного середовища
- D. незалежність характеристик від рівня енергії накачування активного середовища

12.3. Які складові похибки сумарного показника точності пов'язані із нестабільністю властивостей інструмента – пучка лазерного випромінювання та які джерела їх появи?

Відповіді:

- A. на величину сумарної похибки розміру оброблювального отвору: впливають усі учасники Технологічної Системи, що Обробляє (ТОС) в тому числі інструмент через нестабільності його властивостей: часової структури, імпульсної енергії, кута розбіжності та тривалості імпульсу, які є результатами дії схеми утворення променя у стоячій хвилі, коливання енергії накачування та температурного режиму роботи активного середовища (з кристалічною матрицею) та деформацією його тіла
- B. на величину сумарної похибки розміру отвору після лазерної обробки впливає інструмент через нестабільності своїх властивостей - пічкової структури, імпульсної енергії, кута розбіжності променя

- та тривалості імпульсу, які є результатами коливання енергії накачування та температурного режиму роботи активного середовища (із кристалічною матрицею) та деформацією його тіла
- C. на величину сумарної похибки розміру оброблювального отвору впливають інструмент через нестабільності його часової структури, коливання імпульсної енергії, що викликаються коливанням енергії накачування та температурного режиму роботи активного середовища
- D. на величину сумарної похибки розміру оброблювального отвору впливають усі учасники ТОС, в тому числі інструмент через нестабільності його часової структури, кута розбіжності, які є результатами дії схеми утворення променю у стоячій хвилі, імпульсної енергії внаслідок коливання енергії накачування та температурного режиму роботи активного середовища (з кристалічною матрицею) та деформацією його тіла, а також тривалості імпульсу

3.1. Що застосовано в резонаторі лазера за ідеалізованою схемою для параметричного керування діаметром променю?

Відповіді:

- A. в резонаторі лазера за активним елементом розташовано: пристрій, який утримує діафрагму із непрозорого матеріалу з отвором змінного діаметру та дзеркальною вгнутою конічною поверхнею, звернутою до елемента, кутом нахилу якої можна керувати
- B. в резонаторі лазера за активним елементом розташовано пристрій для керування тонкою структурою імпульсу випромінювання та діафрагма
- C. в резонаторі лазера за активним елементом розташовано модову діафрагму із непрозорого матеріалу із можливістю змінення діаметру отвору в ній
- D. в резонаторі лазера за активним елементом розташовано модову діафрагму із прозорого матеріалу з конічною поверхнею, звернутою до елемента, із можливістю змінення діаметру отвору в ній та кута нахилу

13.2. Діянням яких засобів керування імпульсною енергією випромінювання досягають параметричного характеру її змінювання?

Відповіді:

- A. методика 1:
- обрання зони плавного змінювання енергії накачування ступінчастим фільтруванням енергії променю
 - налагодження заданого рівня енергії променю плавним варіюванням енергії накачування
- B. методика 2
- плавне змінювання енергії променю діафрагмуванням його попереку ірисовою (змінною) конструкцією діафрагми
- C. методика 3
- обрання зони плавного змінювання енергії накачування ступінчастим діафрагмуванням попереку активного середовища
 - налагодження заданого рівня енергії променю плавним варіюванням енергії накачування
- D. методика 4
- обрання зони плавного змінювання енергії накачування ступінчастим фільтруванням енергії променю
 - плавне змінювання енергії променю діафрагмуванням його попереку ірисовою (змінною) конструкцією діафрагми

13.3. Які елементарні похибки сумарного показника точності пов'язані із нестабільністю технологічних прийомів – похибок (систематичних та випадкових) позиціювання заготовки у каустиці пучка випромінювання та джерела їх появи?

Відповіді:

- A. похибки відносного позиціювання лазерного променю та поверхні заготовки впливають на розмір зони опромінення та діаметр обробленого отвору і визначаються: нестабільністю частоти випромінювання та похибками внаслідок виконання переходу позиціювання, які виникають при систематичних обставинах (неспівпадіння частот силового променю та підсвітлення зони опромінення – хроматична аберація) та випадковою внаслідок некерованою зміною частоти випромінювання в межах ширини полоси люмінесценції активного середовища, а також ще

випадковою такою, як глибина різкості наглядової оптичної системи, яка визначається акомодаційною, геометричною та хвильовою складовими

- B. похибки відносного позиціювання лазерного променя та поверхні заготовки впливають на розмір зони опромінення і визначаються коливанням частоти випромінювання в межах лінії флюоресценції активного середовища та похибками внаслідок виконання переходу позиціювання, які виникають при систематичних обставинах (неспівпадіння частот силового променя та підсвітлення зони опромінення – хроматична аберация)
- C. похибки відносного позиціювання лазерного променя та поверхні заготовки впливають на розмір зони опромінення та діаметр обробленого отвору і визначаються некерованою зміною частоти випромінювання в межах ширини полоси люмінесценції активного середовища, а також глибиною різкості наглядової оптичної системи, яка визначається акомодаційною, геометричною та хвильовою складовими
- D. похибки відносного позиціювання лазерного променя та поверхні заготовки впливають на розмір зони опромінення та діаметр обробленого отвору і визначаються нестабільністю частоти випромінювання та похибками внаслідок виконання переходу позиціювання, які виникають при систематичних обставинах (неспівпадіння частот силового променя та підсвітлення зони опромінення – хроматична аберация) та випадковою внаслідок некерованою зміною частоти випромінювання в межах ширини полоси люмінесценції активного середовища

14.1. З якою метою в схемі ідеалізованого ЛТО промінь лазера на шляху до оптичної перетворюючої системи проходить через оптичний діод?

Відповіді:

- A. метою застосування оптичного діоду на шляху променя до оптичної системи є: запобігання зворотного руху променя, відбитого від заготовки, через систему чверть хвильових пластин з прозорого матеріалу та досягання ним резонатора
- B. метою застосування оптичного діоду на шляху променя до оптичної системи є зменшення нагрівання оптичної системи лазерним променем, що може привести до її теплової деформації і зміння умов опромінення
- C. метою застосування оптичного діоду на шляху променя до оптичної системи є полегшення процедури центрування останньої без механічних зсувів її або лазера
- D. метою застосування оптичного діоду на шляху променя до оптичної системи є створення безпечної зони для роботи оператора

14.2. На яких технологічних операціях гнучких виробничих систем (ГПС) можливе застосування лазерного променя в якості технологічного інструменту?

Відповіді:

- A. перелік операцій, в яких можливе застосування лазерного променя:
 - a. вимірювання поточних розмірів заготовки або інструменту в режимі активного контролю ходу технологічної операції
 - b. місцеве зміння властивостей поверхні заготовки
 - c. формування на поверхні заготовки регулярного мікрорельєфу
 - d. формування об'ємних форм конструкцій із листових заготовок
 - e. з'єднання складових у цільну заготовку формуванням зварювальних швів
 - f. вирізання вікон, щілин, отворів та формування уступів, пазів та порожнин на різних за формою поверхнях заготовки
 - g. гравірування знаків, малюнків, текстів на поверхнях заготовки
 - h. ремонтні роботи з метою відновлення експлуатаційних можливостей виробу (наплавлення зносостійких шарів, створення або відновлення мікро структури поверхні)
- B. перелік операцій, в яких можливе застосування лазерного променя:
 - a. фрезерування елементів поверхонь заготовки
 - b. визначення показників якості поверхні
 - c. точіння циліндричних поверхонь
 - d. розточування внутрішніх поверхонь заготовки
 - e. вимірювання розмірних результатів обробки лазерним або іншим методом
 - f. гравірування знаків, малюнків, текстів на поверхнях заготовки
 - g. ремонтні роботи з метою відновлення експлуатаційних можливостей виробу (наплавлення зносостійких шарів, створення або відновлення мікро структури поверхні)

- C. перелік операцій, в яких можливе застосування лазерного променю
 - a. литво об'ємних заготовок з тонкими стінками
 - b. видалення недоліків попередньої або поточної операції (затуплення гострих крайок заготовки, видалення задирок, тощо
 - c. нанесення відмінних знаків, написів на поверхню виробу
- D. перелік операцій, в яких можливе застосування лазерного променю
 - a. ремонт зношених отворів, доопрацювання пазів, щілин
 - b. обробка крихких матеріалів

14.3. Які елементарні похибки сумарного показника точності пов'язані із нестабільністю заготовки, що обробляється і джерела їх появи?

Відповіді:

- A. істотними є складові сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів у вигляді: нестабільності відбивних властивостей поверхні заготовки, які залежать від оптичних властивостей матеріалу заготовки, якості та ступеня забруднення її поверхні та температури, а також змінність теплофізичних, структурних та фазових властивостей матеріалу заготовки, неоднорідність розподілу складових елементів в ньому, пір включень та інших, причому усі складові мають випадковий характер та залежать від якості операцій процесу виготовлення заготовки
- B. істотними є складові сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів у вигляді нестабільності відбивних властивостей поверхні заготовки, які залежать від якості та ступеня забруднення її поверхні та температури, а також змінність теплофізичних, структурних та фазових властивостей матеріалу заготовки, неоднорідність розподілу складових елементів в ньому, пір включень та інших, причому усі складові мають випадковий характер та залежать від якості операцій процесу виготовлення заготовки
- C. істотними є складові сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів у вигляді нестабільності відбивних властивостей поверхні заготовки, які залежать від оптичних властивостей матеріалу заготовки, а також змінність теплофізичних, структурних та фазових властивостей матеріалу заготовки, причому усі складові мають випадковий характер та залежать від якості операцій процесу виготовлення заготовки
- D. істотними є складові сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів у вигляді нестабільності відбивних властивостей поверхні заготовки, які залежать від оптичних властивостей матеріалу заготовки, якості та ступеня забруднення її поверхні та температури, а також, неоднорідність розподілу складових елементів в ньому, пір включень та інших, причому усі складові мають випадковий характер та залежать від якості операцій процесу виготовлення заготовки

15.1. Яким чином в конструкції ЛТО на рубіні досягається висока точність розмірних результатів обробки отворів в платах друкованого монтажу та плавне керування розміром отворів при їх якості?

Відповіді:

- A. в лазері на рубіні: тонким керуванням рівнем накачування активного середовища для стабілізації енергетичних параметрів імпульсів випромінювання та управлінням кутом розходження променю керуванням та стабілізацією температури активного елементу
- B. в лазері на рубіні оптимізацією рівня накачування активного середовища для підвищення енергетичних показників імпульсів випромінювання
- C. в лазері на рубіні керуванням рівнем накачування активного середовища для управління кутом розходження променю та регулюванням температури активного елементу
- D. в лазері на рубіні управлінням кутом розходження променю шляхом керування та стабілізації температури активного елементу

15.2. Внаслідок чого можливе підвищення ефективності операцій ЛРО?

Відповіді:

- A. підвищення ефективності ЛРО можливе за рахунок:
 - коректного співвідношення довжини хвилі випромінювання та матеріалу заготовки
 - додаткового підвищення рівня поглинання променистої енергії поверхнею заготовки
 - підтримання обраного режиму опромінення на протязі усієї операції

- обрання економного виду руйнування матеріалу заготовки та його видалення із оброблювальної порожнини
 - залучення додаткових але дешевих видів енергії для економії енергії випромінювання
- B. підвищення ефективності ЛРО можливе за рахунок
- зменшення витраченої енергії випромінювання
 - доопрацювання оброблених елементів дешевими способами та засобами
 - використання енергії лазерного променя як ініціатору операції
- C. підвищення ефективності ЛРО можливе за рахунок
- збільшення рівня інтенсивності випромінювання на поверхні заготовки в зоні опромінення
 - використанням безперервного режиму опромінення для скорочення часу роботи лазера
 - виключенням лазера у перервах між імпульсами в операції ЛРО
 - використання в якості матеріалу заготовки легко руйнівного матеріалу
- D. підвищення ефективності ЛРО можливе за рахунок
- відмова від лазерного променя в якості інструменту на користь більш дешевих
 - допомога лазерному променю інструментами дешевої енергії (свердленням, наприклад) для прискорення операції або підвищення її якості
 - використання оригінальних схем обробки, які підвищують швидкість руйнування матеріалу та його евакуації із порожнини, яка обробляється

15.3. На яких засадах будується моделювання показників якості технологічної операції та з якими припущеннями?

Відповіді:

- A. в якості механізму утворення показника якості технологічної операції прийнято: принцип суперпозиції при поєднанні окремих нестабільностей учасників ТОС в припущенні їх лінійної комбінації
- B. в якості механізму утворення показника якості технологічної операції прийнято арифметичну суму окремих нестабільностей учасників ТОС
- C. в якості механізму утворення показника якості технологічної операції прийнято алгебраїчну суму окремих нестабільностей учасників ТОС
- D. в якості механізму утворення показника якості технологічної операції прийнято геометричну прогресію з окремих нестабільностей учасників ТОС

16.1. Які форми (види) адаптивної організації технологічної операції ЛРО зустрічаються?

Відповіді:

- A. можлива одна із двох форм адаптивної організації технологічної операції в залежності від змісту ТЗ: перша - для створення системи однаково точних отворів, тобто з обмеженим полем розсіювання їх діаметрального розміру (в межах допуску на останній) та друга – для створення системи отворів з нормованим загальним результатом, наприклад, сумарною площею їх попереку
- B. можлива одна із двох форм адаптивної організації технологічної операції в залежності від змісту ТЗ: перша - для створення системи точних отворів, тобто з обмеженим полем розсіювання їх діаметрального розміру та друга – для створення системи отворів з нормованою загальною їх кількістю
- C. можлива одна із двох форм адаптивної організації технологічної операції в залежності від змісту ТЗ: перша - для створення системи отворів заданої кількості та друга – для надання системі отворів нормованого загального результату, наприклад, сумарної площі їх попереку
- D. можлива одна із двох форм адаптивної організації технологічної операції в залежності від змісту ТЗ: перша - для створення системи отворів з нормованим загальним результатом, наприклад, сумарною площею їх попереку та друга – для створення системи отворів заданої кількості

16.2. Для чого підтримують стабільність поглинання (незмінність рівня коефіцієнта поглинання A) енергії випромінювання поверхнею заготовки в операціях ЛРО?

Відповіді:

- A. для: гарантування незмінності та однакової енергійності процесів утворення оброблювальних елементів лазерним опромінюванням

- В. для підвищення ефективності технологічної операції
- С. для здешевлення технологічної операції, тобто підвищення її конкурентності
- Д. для очищення поверхні заготовки перед виконанням основної операції

16.3. На яких підставах будується визначення передавальних коефіцієнтів (або трансформації) початкових нестабільностей в моделях сумарних показників якості при представлення ТОС у вигляді перетворюючої системи окремих нестабільностей її учасників?

Відповіді:

- А. основою для визначення величин передавальних коефіцієнтів в моделях показників якості є: аналіз процесу формоутворення оброблювальних елементів в заготовці при ЛРО та використання аналітичних закономірностей їх залежності від режимів обробки
- В. основою для визначення величин передавальних коефіцієнтів в моделях показників якості є емпіричні залежності їх величин за даними експериментальних досліджень процесу формоутворення при ЛРО
- С. основою для визначення величин передавальних коефіцієнтів в моделях показників якості є аналіз роботи технологічного обладнання ТОС
- Д. основою для визначення величин передавальних коефіцієнтів в моделях показників якості є аналіз реальних похибок, які вносить заготовка

17.1. В якому порядку виконуються переходи технологічної операції при її реалізації в адаптивному режимі обробки системи отворів з нормованим сумарним результатом – загальною площею попереку усіх отворів?

Відповіді:

- А. порядок переходів:
 - розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
 - обробка чергового отвору в заготовці
 - вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
 - статистична обробка результату виміру для формування рівня контрольованого показника (наприклад, площі перетину отвору) та його сумарного значення для обробленої кількості отворів або її частини
 - порівняння рівня сумарного показника (з урахуванням виміряного результату) з нормативним його значенням для тієї ж вибірки отворів за об'ємом: $[S_{\Sigma_n}]$;
 - корекція режиму обробки наступного отвору за результатами порівняння поточного рівня сумарного показника з нормативним:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
 - обробка чергового отвору в заготовці (чергової заготовки)
- В. порядок переходів
 - розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
 - обробка чергового отвору в заготовці
 - вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
 - порівняння рівня показника з нормативним його значенням (полем допуску на розмір)
 - корекція режиму обробки наступного отвору за результатами порівняння поточного рівня показника з нормативним:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
 - доробка чергового отвору в заготовці (чергової заготовки) до заданих меж
- С. порядок переходів
 - розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки

- обробка чергового отвору в заготовці
 - вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
 - порівняння рівня показника з нормативним його значенням (полем допуску на розмір)
 - корекція режиму обробки наступного отвору за результатами порівняння поточного рівня показника з нормативним:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
 - обробка чергового отвору в заготовці (чергової заготовки)
- D. порядок переходів
- розташування заготовки в зоні опромінення та налагодження режиму обробки
 - обробка чергового отвору в заготовці
 - вимірювання рівня показника обробленого отвору, за яким контролюється результат операції, наприклад, діаметр отвору
 - статистична обробка результату виміру для формування рівня контрольованого показника (наприклад, площі перетину отвору) та його сумарного значення для обробленої кількості отворів або її частини
 - порівняння рівня сумарного показника (з урахуванням виміряного результату) з нормативним його значенням для тієї ж вибірки отворів за об'ємом: $[S_{\Sigma_n}]$;
 - корекція режиму обробки оброблювального отвору за результатами порівняння поточного рівня сумарного показника з нормативним:
 - модифікується режим обробки з метою зменшення або усунення розбіжності між поточним та нормативним рівнями показника шляхом обрання ефективного (-них) фактору та кроку його змінення
 - режим не змінюється, якщо відмінність рівнів не перевищує допустимих меж
 - доробка отвору в заготовці до досягнення нормативного значення рівня сумарного показника.

17.2. Яким чином досягається підвищена ефективність формоутворення оброблювального лазерним променем елементу заготовки збільшеної глибини?

Відповіді:

- A. особливими формами організації технологічної операції: для виконання умови незмінності рівня інтенсивності опромінення на поверхні оброблювального елементу заготовки
- B. підвищенням початкової інтенсивності опромінення поверхні оброблювального елементу заготовки
- C. підтриманням постійного рівня імпульсної енергії протягом технологічної операції
- D. звуженням лазерного променя для полегшення її доставки в зону опромінення

17.3. Яка структура сумарної похибки розмірних результатів ЛРО отворів?

Відповіді:

- A. в загаль: сумарна похибка розмірного показника складається із систематичних складових похибки та величин погрішностей, які мають випадкову суттєвість
- B. в загаль сумарна похибка розмірного показника складається із систематичних складових
- C. в загаль сумарна похибка розмірного показника складається з величин погрішностей, які мають випадкову суттєвість
- D. в загаль сумарна похибка розмірного показника повинна бути меншою ніж поле допуску на нього

18.1. Які засоби ефективні для підтримання незмінними умови опромінення заготовки протягом технологічної операції?

Відповіді:

- A. об'єктиви: із змінною фокусною відстанню (трансфокатори) та з можливістю звуження каустики променя

- В. елементи нелінійної оптики для змінювання довжини хвилі випромінювання, що призводить до впливу на фактичну фокусну відстань об'єктиву із закономірністю зростання глибини оброблювального елемента від імпульсу до імпульсу
- С. пристрої для обробки заготовки по черзі з двох сторін для зменшення фактичної глибини обробки
- Д. приводи залежного переміщення заготовки вздовж осі променя від зростання глибини обробки

18.2. Які сполучення лазерної та інших методів обробки дозволяють підвищити якість лазерної розмірної обробки та її ефективність?

Відповіді:

- А. лазерна обробка вдало сполучується: з електроерозійною, ультразвуковою та із механічним діям газів струменів на матеріал заготовки у стані його руйнування променем
- В. лазерна обробка вдало сполучується з плазмою
- С. лазерна обробка вдало сполучується з електрохімічною розмірною обробкою
- Д. лазерна обробка вдало сполучується з електронно променевою обробкою

18.3. Для яких висновків послуговує структура сумарної похибки розмірних результатів технологічної операції?

Відповіді:

- А. за структурою сумарної похибки розмірних результатів обробки визначають: долю вкладу кожної із складових погрешностей операції та напрямки її вдосконалення з метою керування полем розсіювання розмірів
- В. за структурою сумарної похибки розмірних результатів обробки визначають розташування поля розсіювання розмірів обробленого елемента у полі допуску
- С. за структурою сумарної похибки розмірних результатів обробки визначають досягнуту точність обробленого елемента
- Д. за структурою сумарної похибки розмірних результатів обробки виконують відсорткування за браком оброблених елементів (виробів).