

Лазерна розмірна обробка

Розділ 3 (подовження)

Презентація 7

**електронний дидактичний демонстраційний
матеріал**

супроводження дисципліни

**Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол №9 від "21" ТРАВНЯ 2015 р.)**

Автор: проф. Котляров В.П.

**Відповідальний редактор електронного посібника
доц. Зоренко О.В. (ВПІ НТУУ «КПІ»)**

Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення технологічних операцій ЛРО (подовження)

3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин	През. №5, сл.№8
3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин	През. №6, сл.№4
3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів	През №6, сл.№21
3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО	През. №7, сл.№5
Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)	През. №7, сл.№41
Контрольні запитання та завдання	През. №7, сл.№51
Бібліографічний опис	През. №7, сл.№57

Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення технологічних операцій ЛРО

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

През. №7, сл.№5

3.4.1. *Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання*

През. №7, сл.№6

3.4.2. *Автоматизація контролю результатів ЛРО*

През. №7, сл.№17

3.4.3. *Автоматизація процесу доопрацювання порожнини лазерним променем*

През. №7, сл.№21

3.4.4. *Адаптивна організація операцій ЛРО*

През. №7, сл.№26

Додаток до розділу 3.4 (завдання на СРС)

През. №7, сл.№34

Контрольні запитання та завдання

През. №7, сл.№38

Бібліографічний опис до розділу 3.4

През. №7, сл.№40

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

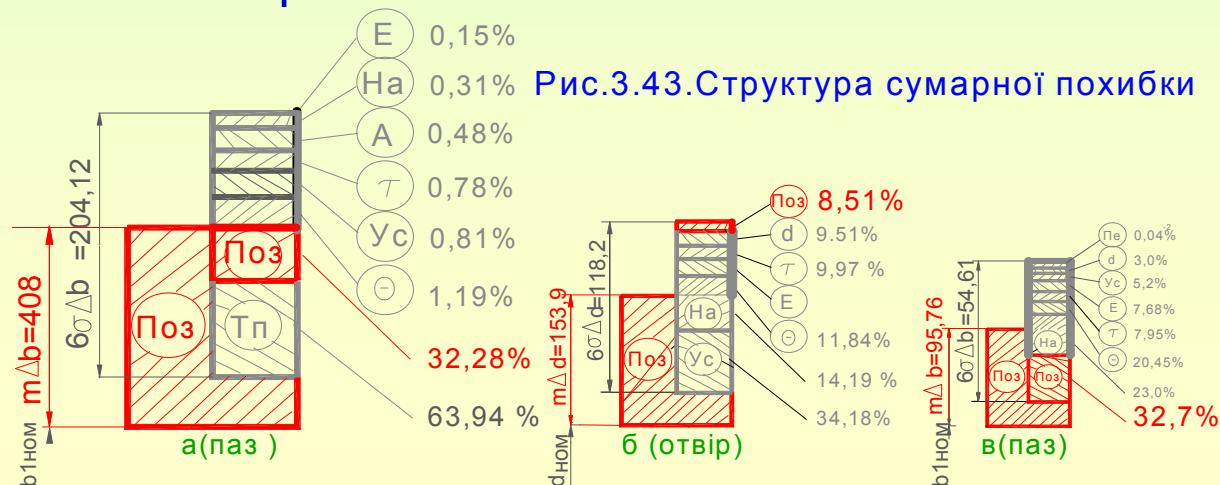
Процедурі автоматизації бажано піддавати **всі переходи операції ЛРО** (в міру необхідності) з метою усунення суб'єктивності при їх виконанні і збереження ідентичності результатів. До таких переходів можна віднести:

- налаштування відносного положення заготовки і пучка випромінювання уздовж осі останнього;
- автоматизація контролю результатів лазерної розмірної обробки;
- контроль результатів обробки;
- автоматизація процесу доопрацювання порожнини лазерним променем;
- адаптивна організація операцій лазерної розмірної обробки .

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

Найбільшу проблему в технологічній підготовці операції розмірної обробки складає перехід розмірного розташування заготовки в каустиці пучка випромінювання, який перетворено оптичним елементом в робочий інструмент, тому що останній не матеріальний, не має фізичних меж, та, звичайно, відсутній в робочій зоні під час виконання переходу. Візуальне виконання процедури налагодження призводить до суттєвих помилок у відносному розташуванні променя і заготовки та нестабільності початкових умов опромінення останньої за цієї причини. Особливу важливість цей перехід має при обробці порожнин у партії заготовок, тому що нестабільність початкового положення заготовки та інструменту призводить до розмірної похибки виконання операції, вважаючи на особливу форму інструменту - каустику сфокусованого пучка випромінювання. Завдання автоматизації переходу відносного позиціювання заготовки і інструменту має метою зменшення похибки розміру оброблювальної порожнини (рис.3.43). Найбільш простим методом автоматизації цього переходу є вживання упорів – жорстких (регульованих) або чутливих, встановлюваних між оптичним елементом і поверхнею заготовки. До чутливих відносяться: ємкісні, індуктивні датчики положення, датчики опору, а також пневматичні елементи різного виконання.



3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

1. Схема оптичної системи ЛТУ з датчиком відносного положення оптичного елемента і заготовки показана на рис. 3.44. Датчик 1 (контактний або безконтактний) оцінює положення поверхні заготовки 2 відносно оптичного перетворюючого елемента 3 і ($\Delta F_в$) порівнює із заданою величиною ($\Delta F_з$). По результату аналізу вимірювальний пристрій 4 управляє приводом 6 зсуву лінзи 3 до нульового розузгодження між ними [112].

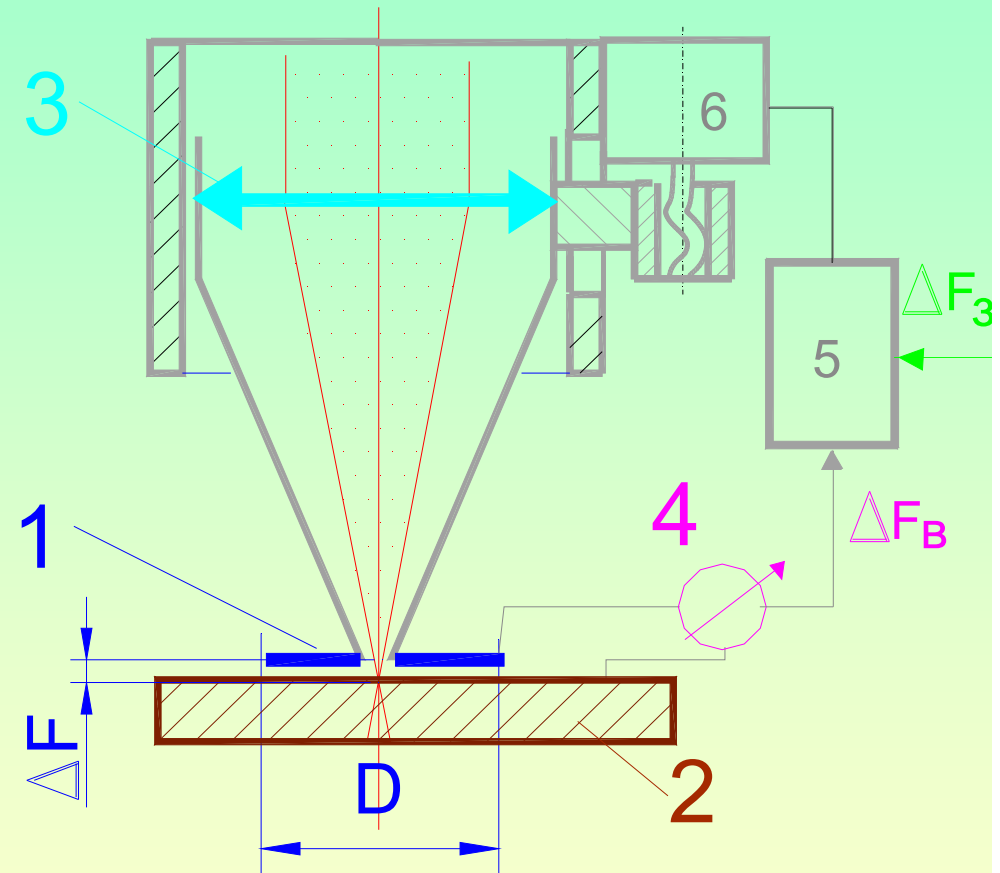


Рис. 3.44. Схема оптичної системи ЛТУ з автоматичним позиціюванням лінзи

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

2. Якщо в якості датчика положення використовується пневматичний елемент, то він дозволяє виконувати відлік відносного положення заготовки та оптичного елемента безконтактним або контактним методом. У першому випадку можна використати насадку на оптичну систему, забезпечивши її витратними каліброваними соплами: 1 на виході і 2 на вході в вимірювальну камеру (рис. 3.45). Налагоджувальне переміщення виконує привід лінзи за результатами виміру тиску датчиком 3, величина якого залежить від витрати газу через кільцевий зазор, причому величина δ визначає відносне положення $F \pm \Delta F$ [113].

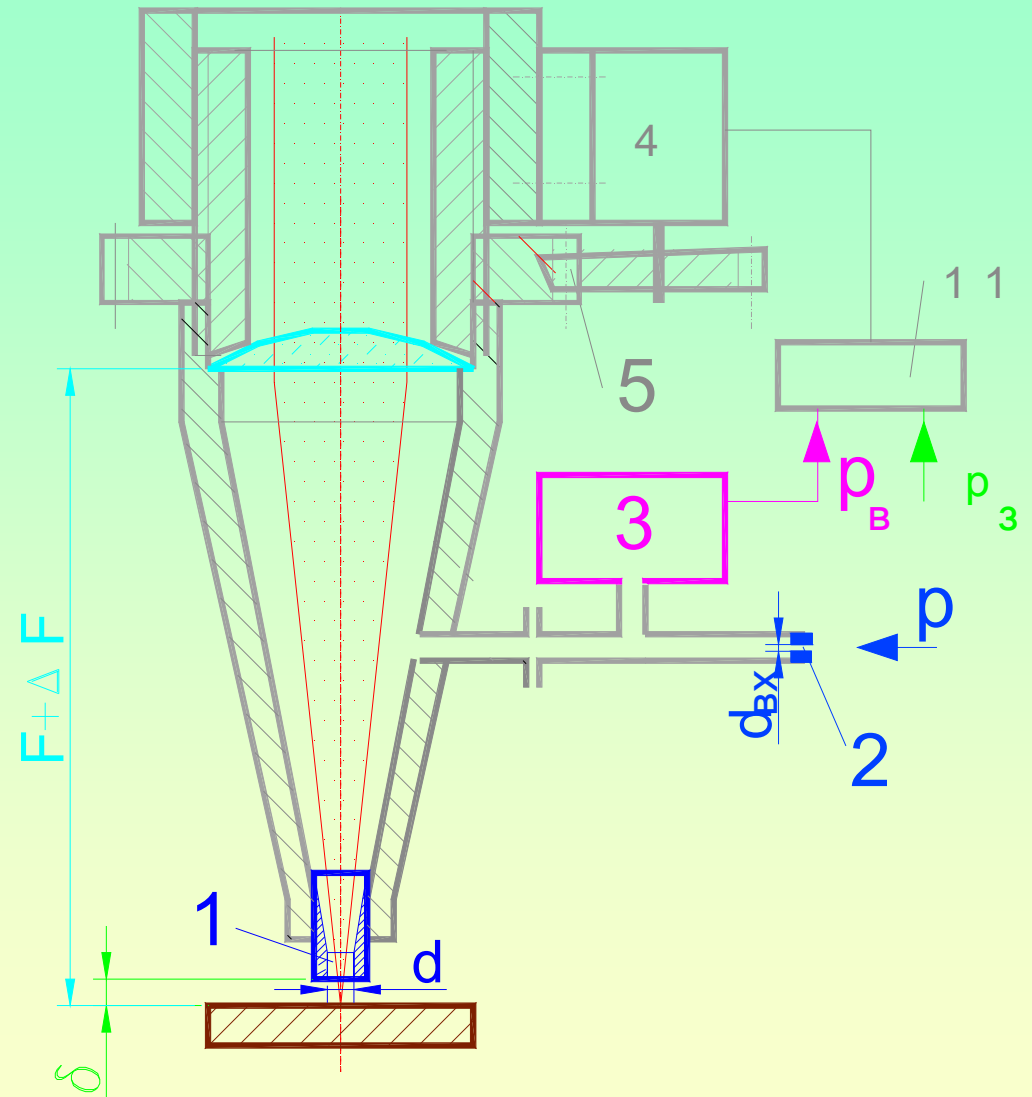


Рис. 3.45. Автоматична система відносного позиціювання лінзи та заготовки за допомогою пневматичного датчика

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

3. Пневматичний датчик контактного типу використовується в способі автоматичного позиціювання, показаному на рис. 3.46. Заготовка 2 розташовується на столі 1, а корпус вимірювальної камери 8 знаходиться в налагоджувальному положенні під дією пружини 3. При переміщенні столу в робоче положення (до лінзи 5) поверхня заготовки 2, досягаючи і герметизуючи корпус 8, переміщує його, зменшуючи об'єм під лінзою 5. Це викликає збільшення тиску в корпусі 8, що визначається датчиком 4. Як тільки відстань між лінзою 5 і заготовкою 2 досягне заданої величини $F \pm \Delta F$, тиск в камері 8 p_v порівнюється із заданим значенням p_z , датчик 4 відключає привод 9 і включає блок живлення 5 лазера 6 [114].

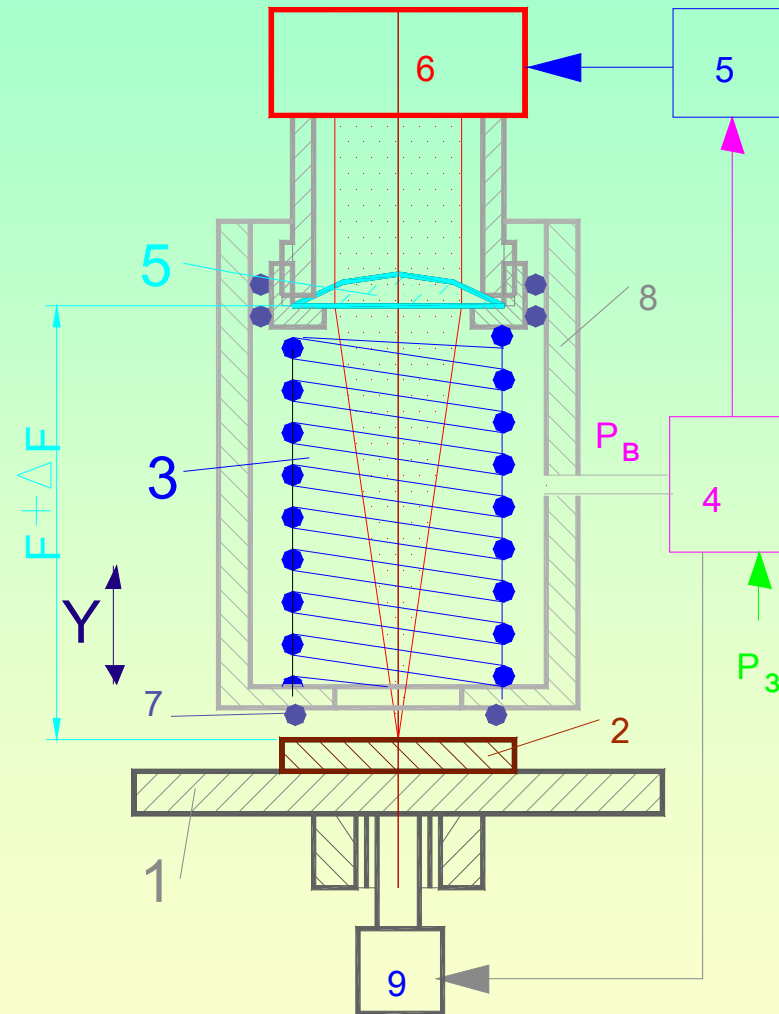


Рис. 3.46. Автоматизована система відносного позиціювання лінзи та заготовки за допомогою пневматичного датчика контактного типу

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТОЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

4. До безконтактних систем також відносяться системи автоматизації, які використовують фотоелектричні датчики. Чутливі елементи 8 встановлюються на шляху пучка випромінювання додаткового лазера 2, що пройшов через фокусуючу лінзу 3 (рис. 3.47). При цьому може аналізуватися напрямок відбитого від заготовки променя 7 (а), (б) або його потужність (в) [115].

У першому випадку (а) дзеркала 12 і 13 направляють промінь 6 додаткового (He-Ne) лазера 2 похило до осі робочого пучка випромінювання лазера 1. Після заломлення його лінзою 3 і відбиття від поверхні заготовки 5, промінь потрапляє в приймальне вікно фотодатчика 8, підключеного до підсилювача 9 і процесора 10, який керує роботою привода 11 стола 4. При попаданні променя 7 в межі апертури фотодатчика 8 і його засвіченні припиняється процес позиціювання.

Друга схема (б) працює аналогічно, лише порівнюючий пристрій поєднано з фотоприймачем 8, що має матричну структуру чутливої зони: відсутність струму на його виході свідчить про симетричне засвічення центру матриці і налагоджене положення заготовки в каустиці променя 7 додаткового лазера 2, яке погоджено з каустикою робочого пучка.

За схемою (в) максимальний рівень відбитого сигналу 7 від поверхні заготовки 5, освітленою променем додаткового лазера 2, спостерігатиметься при збігу положення перетяжки пучка після додаткової лінзи 16 і діафрагми 17, що має розмір d_{ϕ} . При різних положеннях заготовки 5 (окрім заданого) промінь відсікатиметься діафрагмою 17 і фотодатчик 8 вкаже на зменшення його потужності. Завданням дії системи позиціювання 9 - 11 - 4 (14 – суматор) є досягнення такого положення заготовки, при якому спостерігається максимальний рівень потужності на виміривачі 9.

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

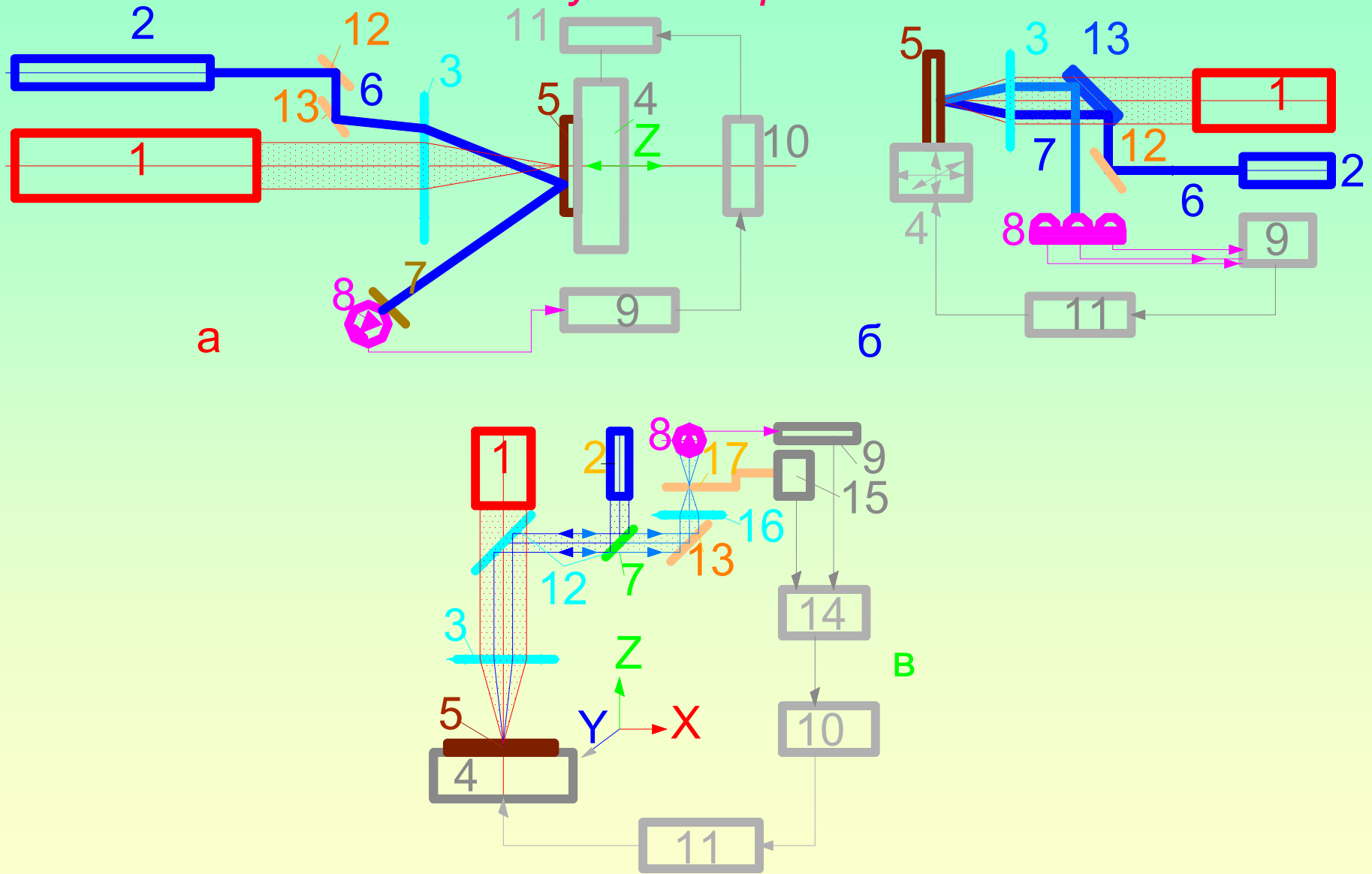


Рис. 3.47. Автоматизовані системи позиціювання з використанням фотоелектричних датчиків

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

5. Розглянуті схеми автоматизації вимагають істотних змін в конструкції оптичної системи ЛТУ і приводу столу. При експлуатації серійного обладнання, що використовує візуальні методи налаштування робочого об'єктиву, необхідне вдосконалення цього переходу за рахунок його полегшення, формалізації системи оцінок і можливої автоматизації.

Основні недоліки процесу позиціювання візуальним методом (звичайним для серійних конструкцій ЛТУ) полягає в низькій точності і продуктивності налаштування із-за стомлюваності органів зору оператора, впливу його суб'єктивних якостей, невизначеності інформаційного сигналу. Причина цього – використовуваний принцип налаштування: розміщення поверхні заготовки 1 у площині різкого зображення мікроскопа 2-3 (рис. 3.48а), об'єктивом якого є робочий об'єktiv 3 оптичної системи ЛТУ. Окрім цих недоліків існують складнощі з розмірним позиціюванням заготовки в інші положення, які відмінні від площини різкого зображення мікроскопа. Для цього застосовують додаткові пристрої (наприклад, індикатор 4).

Застосовуючи для налаштування системи метод подвійного зображення (рис. 3.48б) [114], що полягає у формуванні на поверхні заготовки 1 системи крапок (не менше двох), що світяться, наприклад, від променя додаткового лазера 2, заломленого робочим об'єктивом 3, можна судити про розташування заготовки відносно фокальної площі об'єктиву 3 (для довжини хвилі додаткового лазера 2) по відстані між крапками. Так, якщо один з променів 4 проходить вздовж осі оптичної системи, а інший - 5 зміщений, то по відстані a , залежній від геометричних параметрів оптичної системи F і b можна судити про положення заготовки (I – до фокальне - $\Delta F < 0$, II – у фокальній площині – $\Delta F = 0$, III – за фокальне – $\Delta F > 0$). Для налаштування з розмірним зміщенням ΔF необхідно вимірювати значення розміру a , змінного для кожної фокусної відстані F об'єктиву 3.

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціонування заготовки і пучка випромінювання

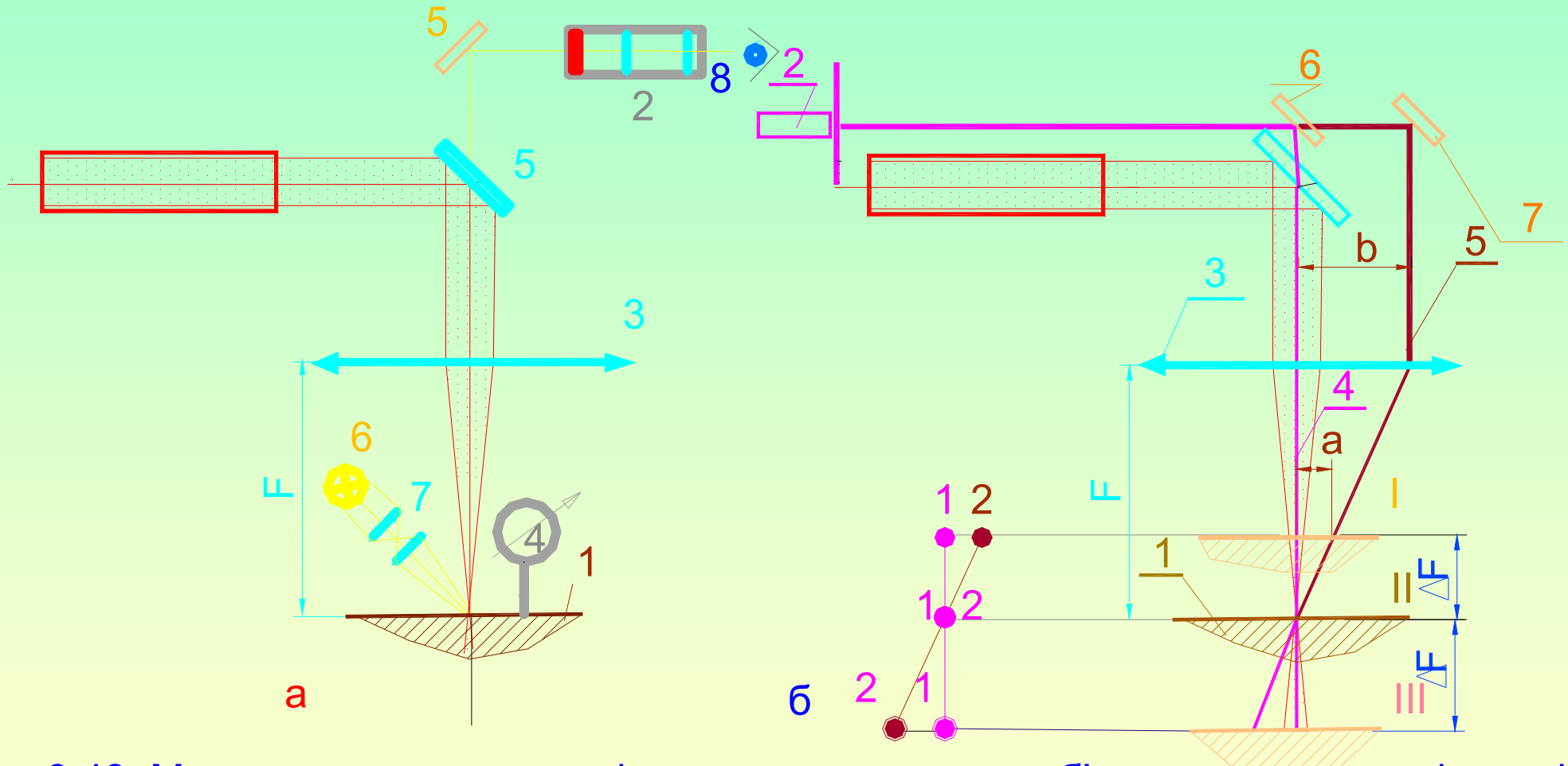


Рис. 3.48. Методи налагодження відносного положення об'єктиву та поверхні заготовки мікроскопний (а) та за подвійним зображенням (б)

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

6. Цю схему можна видозмінити, полегшуючи роботу оператора за рахунок виконання оцінки положення заготовки за фактом збігу крапок, що світяться, на поверхні заготовки при будь-якому заданому розташуванні заготовки відносно фокальної площини об'єктиву, а не лише для $\Delta F = 0$. Для цього одному з променів 5 від додаткового лазера 2 дають можливість змінювати кут падіння φ на лінзу 3, наприклад, поворотним дзеркалом 7 (рис. 3.486).

Тоді при необхідності розмірного розфокусування на величину ΔF дзеркало необхідно повернути у відповідну сторону на кут φ

У всіх положеннях заготовки крапки, що світяться, поєднуються, полегшуючи оцінку кінцевої мети налаштування.

Подальше полегшення процедури досягається при використанні в якості аналізуючих променів – пучків різних довжин хвиль, візуально доповнюючих один одного до променя третього кольору, наприклад комбінація пучків $\lambda_1 = 0,55$ і $\lambda_2 = 0,45$ мкм даватиме зелений колір в полі зору окуляру при візуальному спостереженні оком 8. Таким чином, робота оператора оцінюється за кольором поля зору мікроскопу (рис.3.49) [115].

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \arctga \left[(F - b) - \frac{F^2}{\Delta F} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

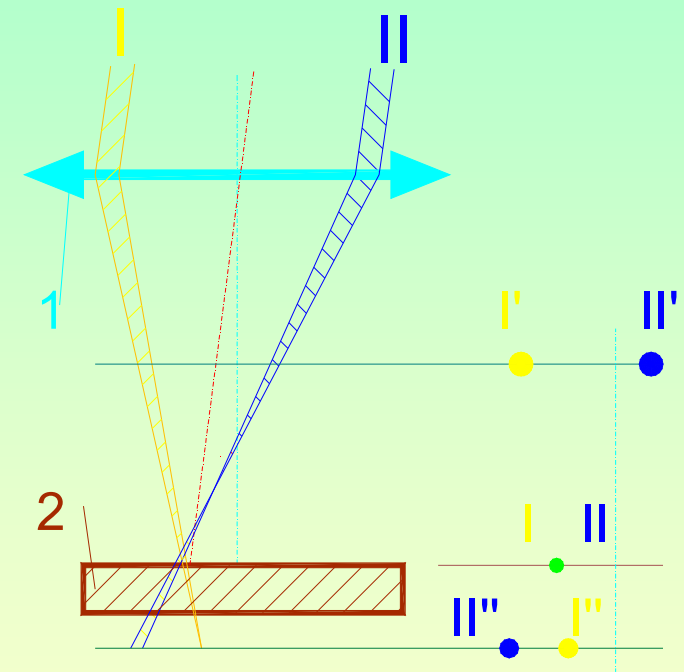


Рис. 3.49. Метод подвійного зображення у різнокольорових промінях

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

7. При використанні для перетворення довгохвильових пучків випромінювання лінз з непрозорих матеріалів (Ge, ZnSe і ін.) використання згаданих способів неможливе. Проте, виконуючи перетворення (відбиття) пучка додаткового випромінювання зовнішньою (сферичною) поверхнею лінзи, можна візуалізувати процес налаштування і в цьому випадку (рис. 3.50). При падінні на лінзу 2 променя 5 видимого діапазону від додаткового лазера (під кутом α на діаметр D) відбитий промінь 6 прямує у бік заготовки 4, а після віддзеркалення від неї – на поверхню лінзи 2 і по напрямку 7. Вочевидь, хід пучка 7 (кут α) визначається за інших рівних умов радіусом сферичної поверхні 3 лінзи R , її товщиною d і відстанню $H = F \pm \Delta F$.

Для заданих значень цих величин, кут α можна визначити із залежності [116]:

$$\alpha = \arctg \left\{ 2R - d + (F \pm \Delta F) - \left[R^2 - \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} / D \right\} - 2 \cdot \arcsin(D/2R)$$

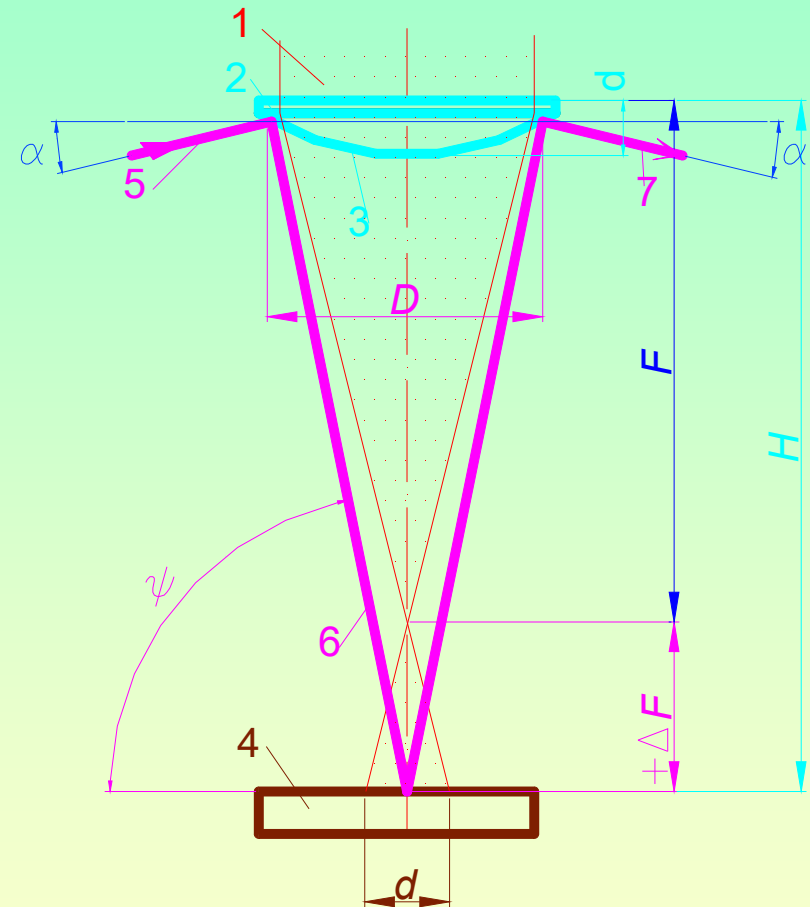


Рис. 3.50. Схема позиціювання поверхні заготовки відносно лінзи із непрозорого матеріалу

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.1. Автоматизація переходу відносного позиціювання заготовки і пучка випромінювання

Прикладом реалізації цієї схеми може бути пристрій, змальований на рис. 3.51. Для заданого положення заготовки 11 можна визначити відстань h між точкою падіння променя 4 додаткового лазера 3 на гайку 6 і головною площиною лінзи 8 за залежністю (1). Переміщенням гайки 6 вздовж тубуса 7 здійснюють попереднє налагодження пристрою. Це призводить до того, що при заданому положенні заготовки 11 ($F \pm \Delta F$) відносно лінзи 8 в центрі поля зору окуляра 10 з'явиться відбитий промінь 4 від її поверхні.

Налаштування здійснюється до появи в центрі перехрестя окуляра 10 відбитого променя 4 [117].

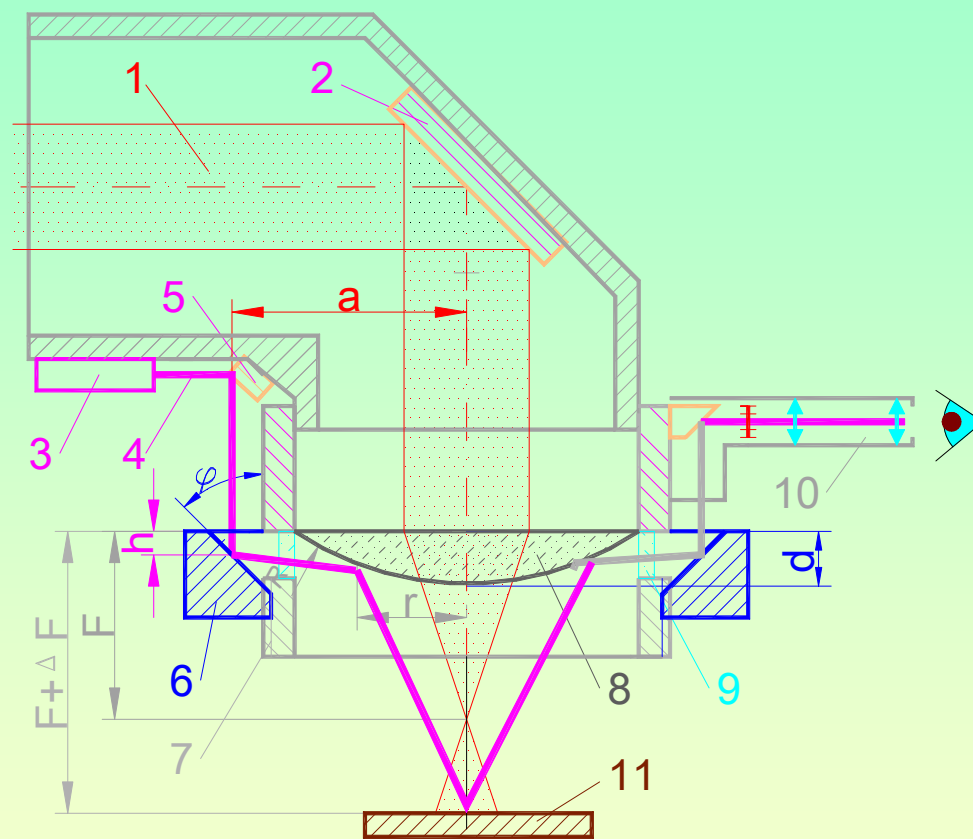


Рис.3.51. Пристрій для візуального позиціювання лінз із непрозорого матеріалу

$$h = (a + r) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + r \cdot \frac{2 \operatorname{tg} \alpha_2 + \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1}{1 + 2 \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_2} - [(F \pm \Delta F) - \delta + R] \quad (1)$$

$$\alpha_1 = 2\varphi - 90$$

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{1}{r} \sqrt{R^2 - r^2}$$

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.2. Автоматизація контролю результатів ЛРО

Для автоматизації операцій лазерної розмірної обробки необхідно постійно **аналізувати хід технологічного процесу** з метою визначення моменту і напрямку його корекції. Для здобуття інформації про хід обробки застосовують:

- **фотометричні датчики**, що фіксують появу випромінювання з тильного боку заготовки, або вимірюють розмір оброблюваного отвору за рівнем фото сигналу;
- пневматичні пристрої, що фіксують зміну тиску в порожнині заготовки або за її межами;
- **датчики акустичної дії**, що реагують на шум, супроводжуваний процесом обробки.

1. Візуальне спостереження за обробкою крізної порожнини в стінці труби може здійснюватися при підсвічуванні її зсередини світлом **лампочки 2** через **світловолокно 1** (рис.3.52). Спостережуваний в окулярі **3** забарвлений **світлофільтром 8** пучок світла свідчить про крізну прошивку стінки заготовки **4**, а проекція профілю порожнини на шкалу – її розмір [118].

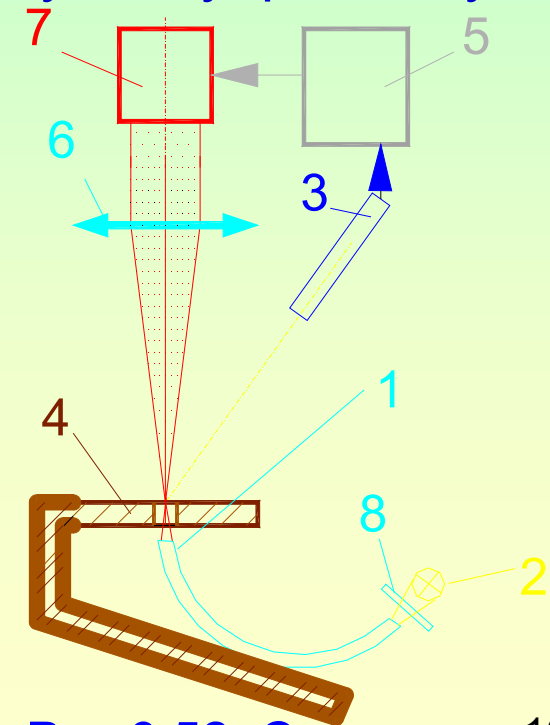


Рис.3.52. Схема контролю обробки крізної порожнини

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.2. Автоматизація контролю результатів ЛРО

2. Якщо у попередній схемі (рис.3.52) замість лампочки 2 встановити окуляр 8, то візуально можна переконатися у факті крізній прошивці отвору, використовуючи випромінювання лазера 7. Операція легко автоматизується прим установці фоточутливого приймача 2 зі світлофільтром 6 (рис.3.53), який пропускає випромінювання лазера 7. З появою фотоструму виконавчий прилад 9 управляє роботою системи живлення 5 лазера 7.

3. Для цієї ж мети можна співісно з променем подавати струмінь газу, який не лише сприяє підвищенню якості обробки, але і може інформувати про хід операції і при її завершенні – сигналізувати про це – замикаючи контакти, які розташовують за стінкою заготовки, яку обробляють [119].

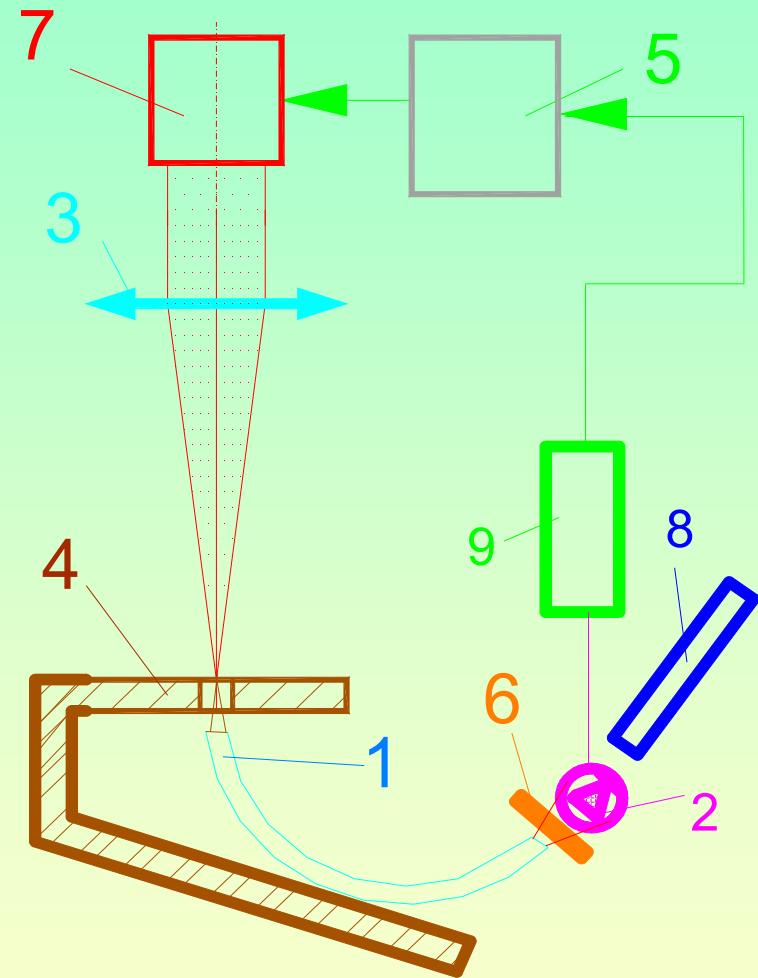


Рис.3.53. Схема автоматизації контролю обробки крізної порожнини

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.2. Автоматизація контролю результатів ЛРО

4. При обробці отворів мікронних розмірів інформація, що отримується перерахованими вище методами, має рівень шумового фону, що наводить до помилкових спрацьовувань системи. Герметизуючи камеру 3 заготовки 1, до якої виходить оброблювальна порожнина, можна підвищити точність інформації шляхом фіксації появи ударної хвилі на виході із заготовки. Для цього її камеру сполучають з датчиком тиску 2, що реагує на його кидки (різкі змінення тиску) при прошивці крізної порожнини із-за виділення в камеру 1 частини продуктів руйнування заготовки 3 (рис. 3.54). Датчик управляє роботою блоку живлення 4 лазера 5, вимикаючи його при формуванні крізного каналу порожнини [120].

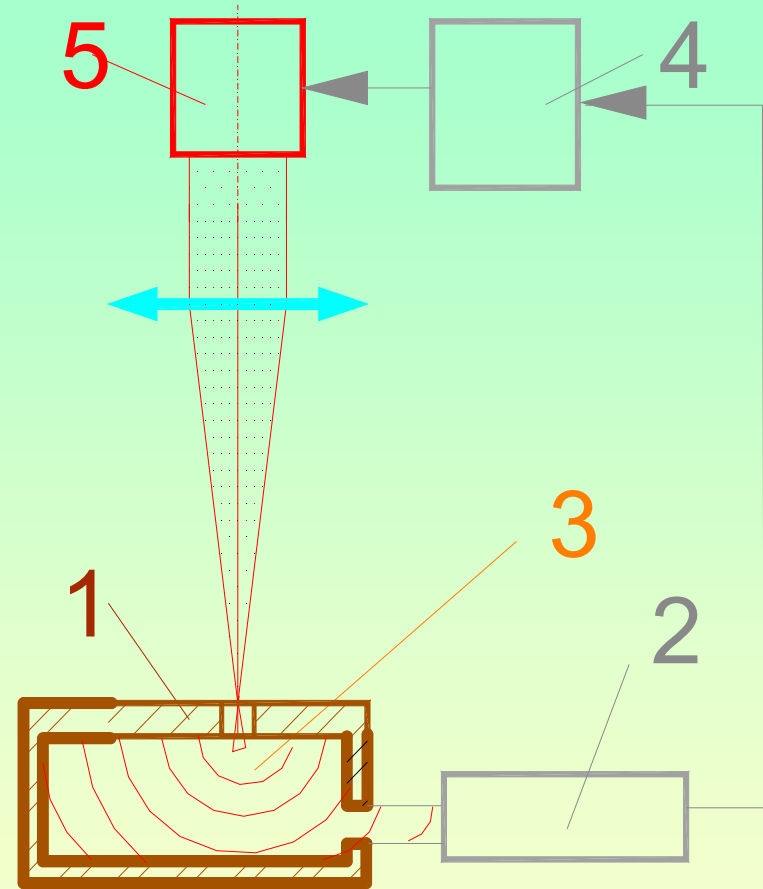


Рис.3.54. Схема контролю обробки крізної порожнини явлюєть в плукище заготовки

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.2. Автоматизація контролю результатів ЛРО

5. Характеристикою закінчення процесу може служити зміна інтенсивності ерозійного факелу. Тому, аналізуючи його поглинальні здібності на довжині хвилі додаткового лазера, можна управляти процесом обробки, змінюючи режим опромінення або метод обробки. Так, в установці для лазерної обробки (рис.3.55) процес обробки починається при попаданні променя 6 від джерела 5 на фотоприймач 7, які розташовані над заготовкою 4. Задатчик калібруючих імпульсів 12 налагоджує лічильник 8, який включається лише при зникненні факелу 14, тобто при новому засвіченні променем 6 приймача 7. При утворенні крізного каналу порожнини, факел переводиться за заготовку 4 і відкривається клапан 13 подачі газу у неї. Лічильник імпульсів 9 відлічує задану йому задатчиком 12 кількість і вимикає блок живлення 11 лазера 1 і подачу стислого газу. Обробка закінчена [121].

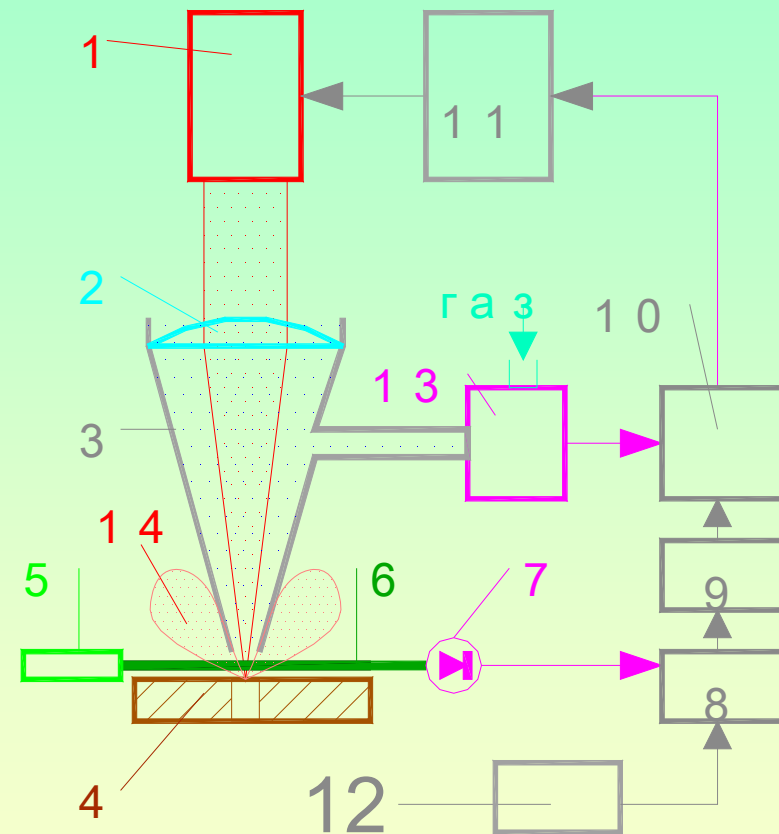


Рис.3.55. Схема обробки з контролем за процесом шляхом вивчення параметрів ерозійного факелу

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.3. Автоматизація процесу доопрацювання порожнини лазерним променем

Для обробки порожнин заданого розміру застосовується дві схеми:

- прошивка порожнини випромінюванням на налагодженій установці;
- поступове наближення його розміру до заданого рівня залежно від поточного його значення.

1. Доопрацювання порожнини лише одним калібруючим імпульсом може підвищити точність розмірних результатів обробки. Цей метод застосовують шляхом доопрацювання порожнин, розмір якого ще не досягає заданого рівня після визначеної кількості робочих імпульсів випромінювання. Якщо перед обробкою заготівку 1 притиснути до ущільнення 2, закріпленому на торці вимірювальної камери 4, і опустити її до рівня, заздалегідь піднявши на висоту:

$$h_{\text{под}} = H + \frac{p - \Delta p}{p} \left[\frac{4W_0 S_0}{\pi f D^2} - F + a \right]$$

де: p - тиск довколишньої атмосфери; Δp - рівень вакууму в камері 4, необхідний для утримання заготівки 1 вагою G при її ущільненні по діаметру $D_{\text{заг}}$: $\Delta p = G_{\text{заг}}/S_{\text{заг}}$; $S_0 = \pi d_0^2/4$; D - внутрішній діаметр камери 4; W_0 - швидкість видалення повітря через порожнину діаметром d_0 при перепаді тиску по різні сторони перешкоди Δp :

$$W_0 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p V \left(1 - \frac{p'}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.3. Автоматизація процесу доопрацювання порожнини лазерним променем

де: k – показник адиабати (для повітря $k = 1,4$); $V = 1/\rho$ - питомий об'єм повітря ($\rho = 1,293$ кг/м³).

Для створення вакууму, необхідного для утримання заготовки 1 з крізною порожниною заданого розміру $\varnothing d_0$ протягом часу, рівного або більшого періоду дотримання імпульсів $t = 1/f$, камеру 4 після підйому на висоту $h_{\text{під}}$ необхідно опустити на величину $h_{\text{оп}}$:

$$h_{\text{оп}} = h_{\text{оп}}' + h_{\text{оп}}'' = \frac{\Delta p}{p - \Delta p} (H - h_{\text{нод}}) + \frac{4W_0 S_0}{\pi D^2 f}$$

Після підйому і опускання камери на вказані висоти h поверхня заготовки 1 розташується у потрібному (розрахунковому) перетині каустики пучка (ΔF), сфокусованого лінзою (F), здійснивши автоматичне фокусування. Оброблювальні імпульси випромінювання формують порожнину заданого розміру. Якщо після імпульсу, що формує крізний канал порожнини, розмір останньої буде менше заданого, то підйом тиску усередині камери до величини, при якій заготовка відпаде, станеться за час, більший, ніж період дотримання імпульсів. Таким чином, ще один імпульс встигне допрацювати порожнину перш, ніж заготовка відпаде, збільшуючи її розмір. Якщо ж порожнина після першого імпульсу матиме заданий розмір, то заготовка відпаде раніше, ніж станеться доопрацювання наступним імпульсом і розмір порожнини не збільшиться. У обох випадках досягається задана точність оброблених порожнин за рахунок зменшення поля розсіяння їх розмірів [122].

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.3. Автоматизація процесу доопрацювання порожнини лазерним променем

2. Подібний принцип автоматизації застосовано в установці для лазерної обробки порожнин, яка зображена на рис. 3.57 з тією відмінністю, що вакуум над **заготівкою 1** створюється ежекторним пристроєм, що складається з сопла **2** і приймального вікна **3**, вісь яких перпендикулярна осі променя. Струмінь газу плоскої форми між ними створює розрядження і, крім того, перекриває **промінь**, перешкоджаючи розльоту продуктів лазерної ерозії у бік **лінзи 4**. Тиск p і витрата газу вибирають таким, аби створюване розрядження в камері **5** є достатні для утримання заготовки вагою $G_{заг}$ з площею $S_{заг}$, що ущільнюється, в якій обробляється порожнина. Якщо після першого (перших) імпульсу формується крізний канал порожнини **менших розмірів**, то обробка продовжується до тих пір, поки порожнина не досягне заданого розміру (**нижньої межі полю допуску**) і заготовка **1** не відпаде внаслідок надходження повітря через неї і зниження розрядження в камері **5** [123].

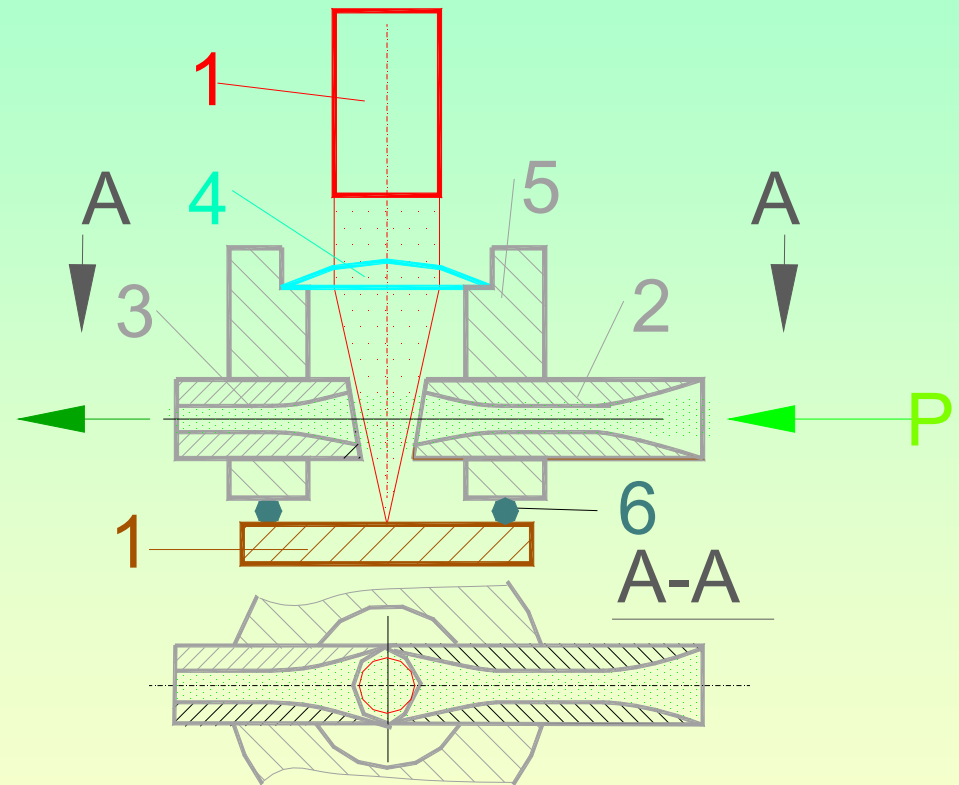


Рис. 3.57. Схема доопрацювання порожнини лазерним променем під час обробки

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.3. Автоматизація процесу доопрацювання порожнини лазерним променем

Якщо вакуум створити в камері, що герметизується, між поверхнею заготовки 1 та лінзою 2 при допомозі вакуум – насоса 5, причому витрату повітря при відкачуванні обмежувати діафрагмою 4 розміром (рис. 3.58): 6 – датчик тиску, 7 – блок живлення лазера 1):

$$d_{ex} = d \left(1 - \frac{G_3}{S_3 \cdot p_a} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

(де: d - розмір оброблюваного отвору; G_3 - вага заготовки; p_a - тиск атмосфери; S_3 - площа поверхні заготовки, що ущільнюється), то заготовка знаходитиметься в оброблювальному положенні до тих пір, поки в ній порожнина не досягне заданого розміру $[d]$. Після чого вона автоматично відпадає, що зменшує поле розсіювання розмірів порожнин внаслідок їх доопрацювання [124].

Останні дві конструкції містять деякі елементи, які звичайно застосовують для адаптивної організації технологічних операцій з використанням кількості оброблювальних імпульсів для керуванням розміром оброблювальної порожнини. Подібні пристрої розглянемо в наступному розділі.

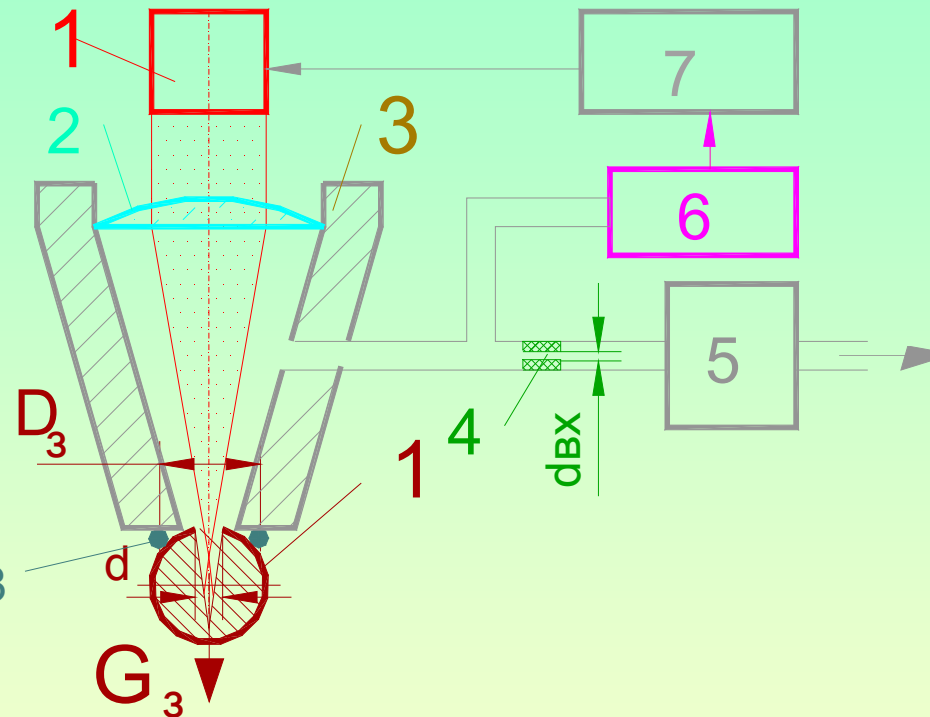


Рис.3.58. Схема доопрацювання порожнини декількома імпульсами під час обробки

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

Крім розглянутих вище схем адаптивної організації операції ЛРО з доопрацюванням порожнини до заданого розміру збільшенням кількості імпульсів випромінювання використовують обробляючі системи з датчиками, які стежать як за безпосередніми так і непрямими показниками процесу обробки.

1. Можливе використання акустичних датчиків, які аналізують хід процесу обробки за рівнем шуму, супроводжуючого руйнування матеріалу заготовки (рис.3.59а). Чутливий елемент – мікрофон 1 – через вимірювальний пристрій 2 управляє роботою блоку живлення 3 лазера 4, при цьому можливе не лише змінювання кількості імпульсів, але і можливе управління енергією випромінювання, тривалістю опромінювання [125].

2. Висота і яскравість факелу 6 ерозійних продуктів руйнування матеріалу заготовки 7 також можуть свідчити про хід процесу обробки. Аналіз здійснюється матрицею фотодатчиків 1, що розташовуються уздовж поширення факела 6, з вимірювачем 2, (рис.3.59б). Зменшення висоти або яскравості факелу 6 по відношенню до зразкового його вигляду свідчить про згасання процесу, про закінчення операції або про зниження енергоємності. За цими показниками можна керувати закінченням або подовженням тривалості операції впливом на блок живлення 3 лазера 4 [126].

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

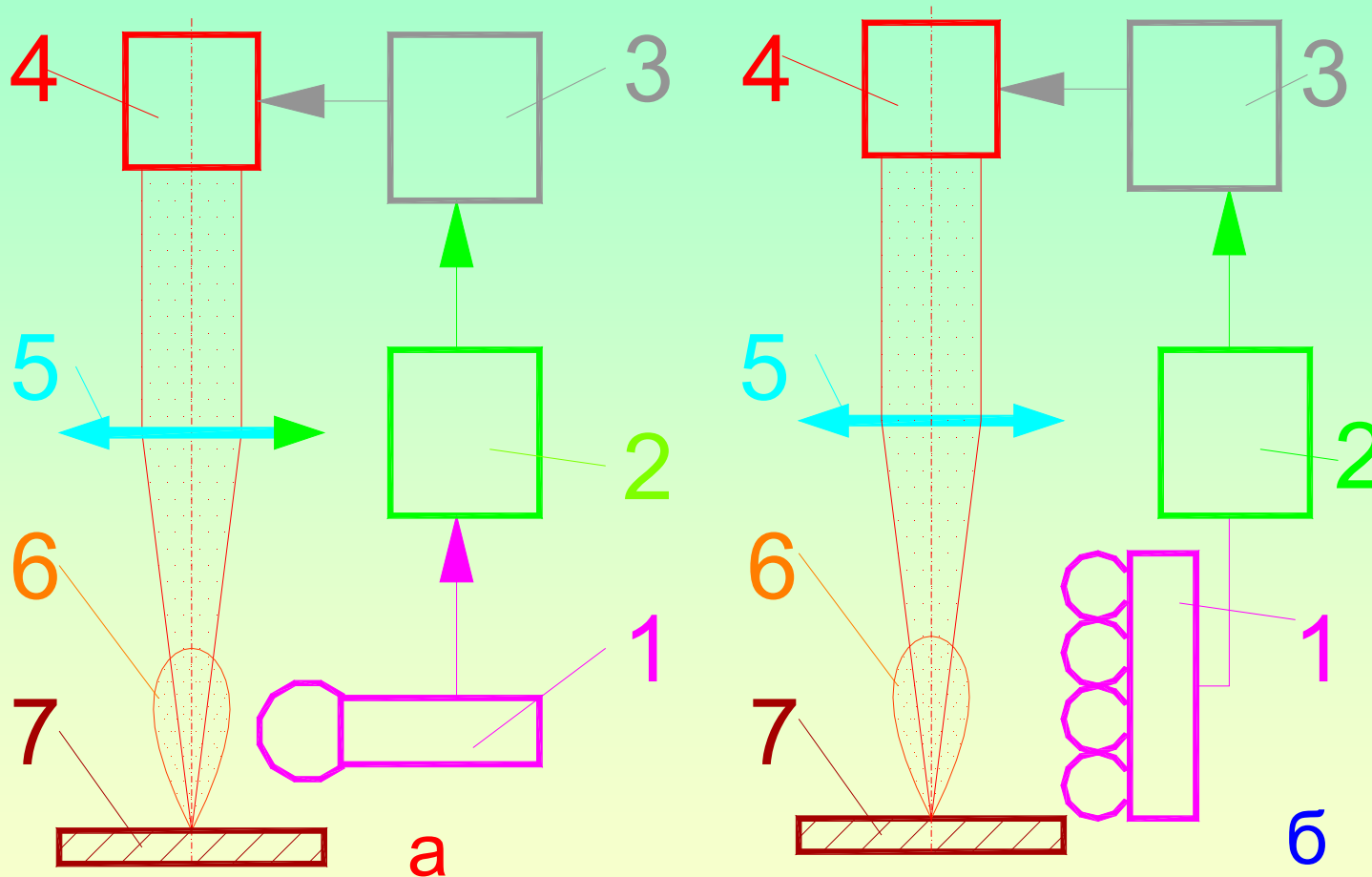


Рис.3.59. Схема пристрою для адаптивної організації технологічної операції обробки порожнини з контролем супроводжуючого процес обробки факелу

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

3. Порожнини, які оброблено при контролі **непрямих показників** процесу обробки характеризуються низькою якістю внаслідок нелінійних залежностей останніх від прямих (безпосередніх) результатів. Вочевидь, більший ефект від адаптивної організації операції може бути досягнутий при безпосередньому контролі розмірного результату дії лазерного променя на заготовку. Це може виконуватися **фотометрично** – шляхом виміру енергії променя, що пройшов через оброблену порожнину, від робочого **лазера 1 (а)** [127] або додаткового **6 (б)** – рис.8.38 [128].

У **першій конструкції** рівень фотоструму у **фотодіоді 3** через блок живлення **5** визначає режим роботи **лазера 1** – від зміни **енергії випромінювання** або кількості робочих імпульсів до виключення лазера. **Недоліком** можна вважати залежність сигналу, що управляє, від витрати енергії променя на **формування порожнини**. Внаслідок цього використання додаткового **лазера 6 (б)** дозволяє незалежно від втрат енергії основного променя отримувати достовірну інформацію про розмір порожнини і точніше керувати її обробкою.

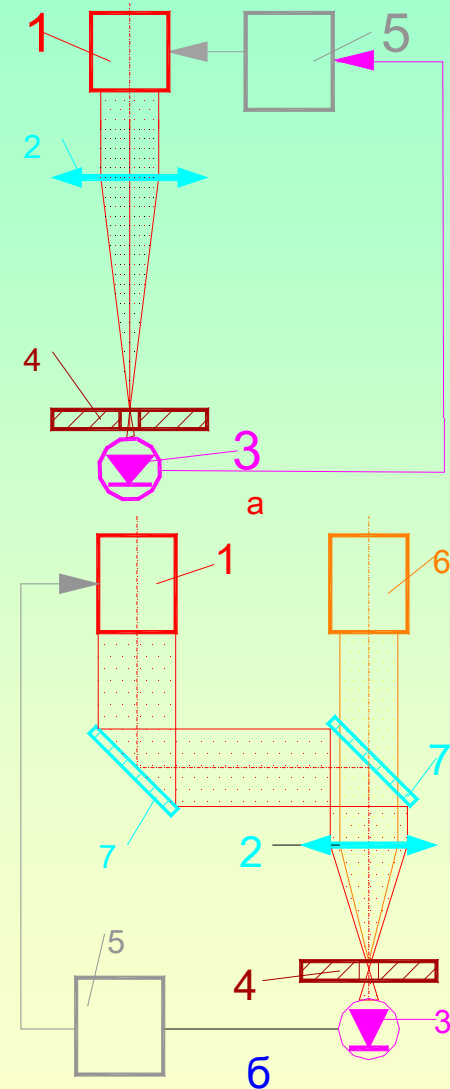


Рис. 3.60. Схеми пристроїв для адаптивної організації технологічної операції обробки порожнини з фотометричним контролем її розміру

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

4. При обробці тонкостінних заготовок ефект від корекції результатів обробки внаслідок збільшення кількості імпульсів або рівня їх енергії незначний внаслідок кризного проходу центральної частини випромінювання через оброблювальну порожнину. Більш дієвою є зміна умов опромінення в залежності від поточного її розміру. На рис.3.61 показана схема установки, що містить датчик 4 вихідного положення лінзи 2 відносно заготовки 5, схему порівняння 6 і привід вертикального переміщення 3 лінзи 2. За заготовкою встановлюється фотодатчик 7 з перетворювачем 8. Перед включенням лазера 1 лінза 2 встановлюється за допомогою приводу 3 в положення, визначене датчиком 4 і схемою порівняння 6 ($\Delta F_{зад}$). Після закінчення налаштування лінза 2 включається лазер 1 і обробляє кризну порожнину, через яку випромінювання засвічує фотодатчик 7. За величини відмінності її розміру від заданого лінза 2 зміщується вгору на величину ΔF , змінюючи розмір каустики і збільшуючи діаметр отвору на величину Δd . Таке управління процесом ефективно прискорює наближення розміру до заданого рівня [129].

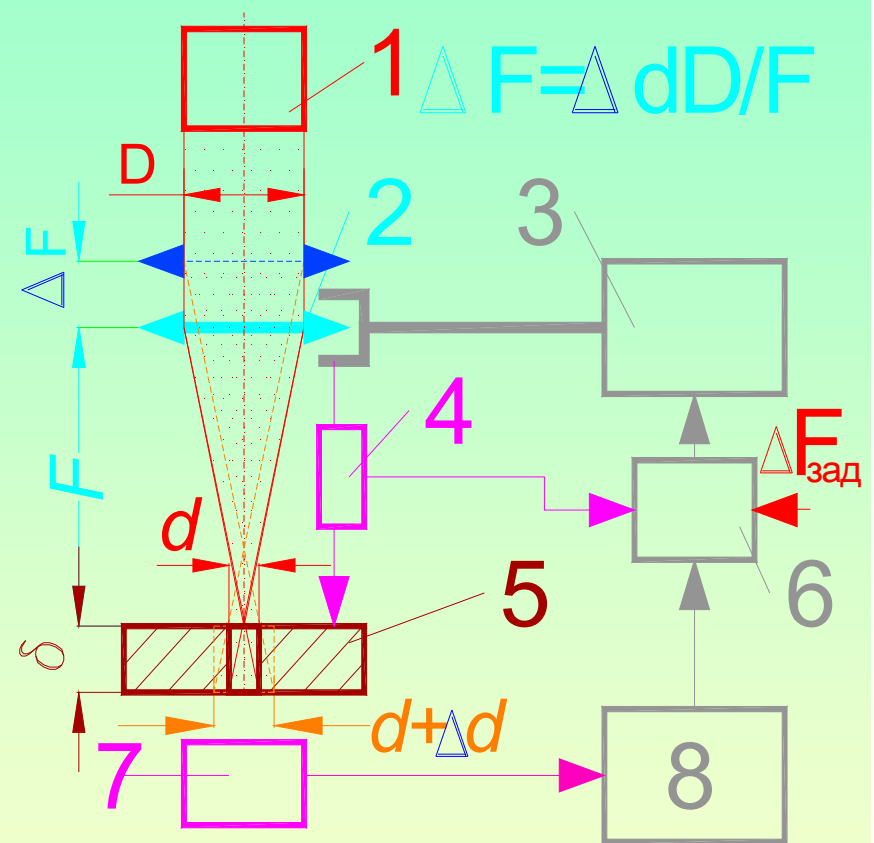


Рис. 3.61. Схема ЛТУ з адаптивною організацією операцій обробки порожнин за рахунок змін умов опромінення

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

5. Якісне контурне вирізання пазів та порожнин в заготівках із листового матеріалу ускладнюється тим, що на процес обробки впливає багато чинників одночасно: коливання потужності випромінювання, нестабільність поглинальних властивостей матеріалу заготовки, її товщини і так далі. При спробі автоматизувати процес з метою досягнення заданого рівня якості доводиться підвищувати вимоги до заготовки та попередньої технологічної операції, що здорожує останню. Адаптивна організація процесу дозволяє відмовитися від високих вимог до технологічної підготовки виробництва. За критерій оптимальності операції береться напрям струменя робочого газу, що витікає з різку знизу листа, і який залежить від товщини і матеріалу заготовки. Сигнал, який керує процесом обробки на підставі аналізу напрямку витікання струменя, можна направити на керування потужністю випромінювання за незмінною швидкістю подачі заготовки V , або, як це використовується в установці на рис. 3.62, на рівень швидкості. Струмień газу, що витікає з сопла 6 установки після видалення із зони різку розплаву матеріалу заготовки 7, нахилений на певний кут φ і зміщений на величину $(r_0 = d_0)$ у напрямку подачі V . Якщо під заготовкою 7 розташувати два датчика (4 і 5) на відстані від осі пучка випромінювання і між собою, то при зміні за якихось причин оптимального перебігу операції (падіння потужності випромінювання, зміна відбивних властивостей заготовки або її товщини) один з двох датчиків піддається більшому діянню струменя газу. Ця інформація поступає в перетворювач 8 і виконавчий пристрій 6, що вибирає умови зміни швидкості подачі приводу столу 7. Стіл сповільнюється або прискорюється до такої міри, аби повернути струмєнь в зазор між датчиками, тобто до вирівнювання тиску на кожному з датчиків 4 і 5 [130].

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

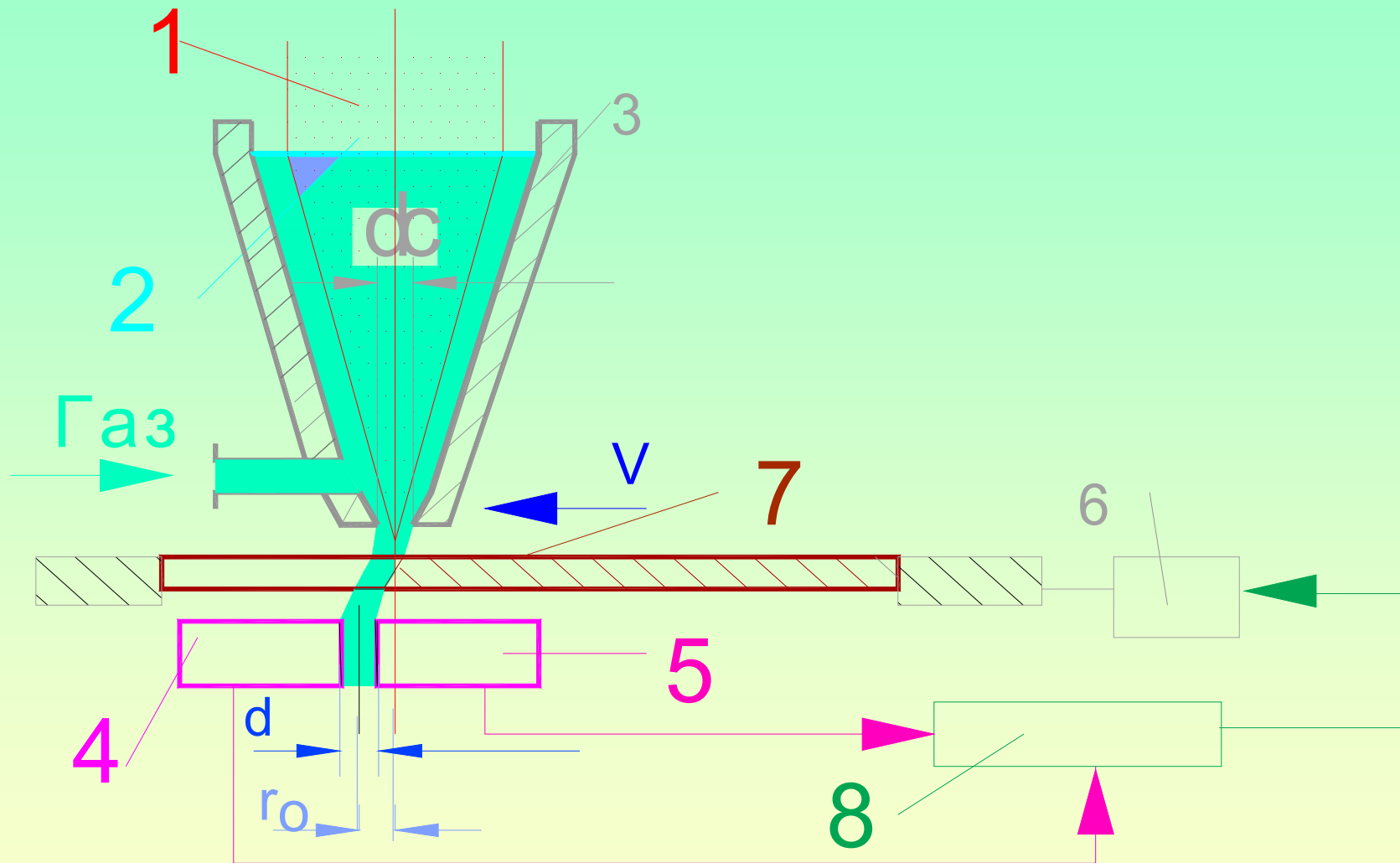


Рис. 3.62. Схема ЛТУ з адаптивною організацією операції котурної обробки порожнини з контролем напрямку супроводжуючого газового струменю.

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

Вищий рівень автоматизації операції досягнуто в ЛТУ, схему якої зображено на рис. 3.62 і яка призначена для створення крізних отворів в кульках обприскувачів вітрового скла автомобілів. Автоматизовано контроль і управління розміром обробки, завантаження і розвантаження установки. Цикл обробки починається з подачі заготовок з бункера по склизу 13 в позицію для завантаження, що знаходиться на штоку поршня 6 пневмоциліндру 7. Перша заготовка, перекиваючи отвір 6 в штоку, зменшує витрату повітря з-під поршня, що подається насосом 12 по трубопроводу через вхідне сопло 9 з апертурою d_e . Якщо отвір в штоку відповідає співвідношенню:

$$d_{шт} < \left[\frac{4G_3}{\pi p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

(де G_3 - вага заготовки, p – тиск, що створюється насосом), а рівень тиску p достатній для підйому поршня із заготовкою:

$$p \geq \frac{(G_n + G_3)4}{\pi D_3^2}$$

(G_n - вага поршня з штоком), то заготовка – кулька подається вгору у напрямку до вакуумної камери 4 з ущільненням 5 на торці. У міру наближення заготовки до камери зменшується подача повітря в пневмоциліндр 7, оскільки він нагнітається насосом 12 через патрубок з камери 4. Дросель 9 в цей період відкрито приводом 10, який керований датчиком тиску 11. Заготовка підтягується вакуумом до ущільнення 5, відділяючи його від штока на відстань Δ . Видалення повітря з-під поршня збільшується, тиск під поршнем падає і під дією власної ваги він опускається. При падінні тиску датчик 11 перемикає дросель 9 на зазор :

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

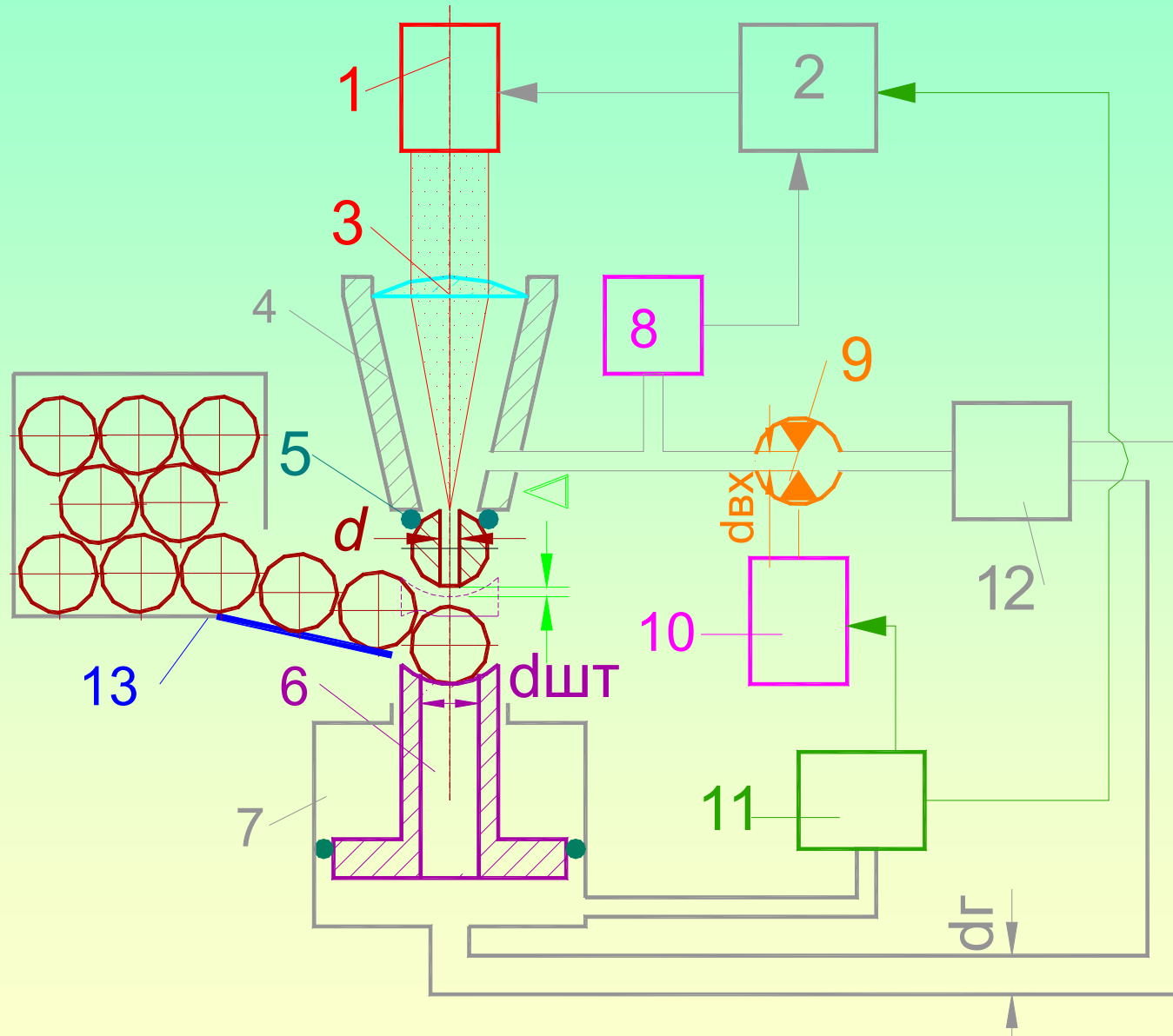


Рис.3.63. Схема ЛТУ з автоматизацією повного циклу обробки отворів в заготовках типу "куля".

3.4. Автоматизація і адаптивна організація ТО ЛРО

3.4.4. Адаптивна організація операцій ЛРО

$$d_0 = d \left[1 - \frac{G_3}{S_3 (p_a - p_B)} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

(де: d - діаметр оброблюваного отвору, S_3 - площа заготовки, що ущільнюється манжетом 5, p_a - атмосферний тиск, p_B - рівень вакууму).

Починається обробка отвору, що продовжується до тих пір, поки його розмір не досяг заданого значення d . Тоді надходження повітря через отвір зростає, перепад тиску падає і заготовка відпадає від ущільнення, звільняючи зону обробки. Друга заготовка, яка в цей момент знаходиться на штоку 6, не піднімається до тих пір, поки тиск в пнемо циліндрі 7 не зросте до рівня p , при якому перемикається апертура дроселя 9. Оброблений виріб, ударившись об другу заготовку, відскакує в піддон, де збирається готова продукція [131].

Розглянуті засоби і способи вдосконалення операцій ЛРО доповнюються іншими, що стосуються всіх сторін процесу. Проте, якщо не вдається досягти заданого рівня якості, застосовуються засоби доопрацювання порожнин не лазерними методами. Це: прошивка оброблених порожнин пуансонами (фільєри з кераміки для текстильної промисловості), доопрацювання УЗ-інструментом (діамантові фільєри, годинникові і приладові камені); гідроабразивна поліровка (отвори розпилювачів дизельного палива) і ін.

Додаток до розділу 3.4. (завдання на СРС)

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

2. Завдання на СРС 2: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для її використання в операції газолазерного 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.

3. 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)

4. 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.

5. 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.

Додаток до розділу 3.4. (завдання на СРС)

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

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

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

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

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

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

Додаток до розділу 3.4. (завдання на СРС)

12. 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.

13. 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.

14. Завдання на СРС 14: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготівки 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.

15. Завдання на СРС 15: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготівки 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".

16. 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.

Додаток до розділу 3.4. (завдання на СРС)

17. Завдання на СРС 17: Розробити конструкцію датчика відносного позиціювання 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.

18. 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 різь 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.

Контрольні запитання та завдання

1. Які переходи технологічних операцій ЛРО потребують автоматизації з метою її об'легшення та виключення впливу людського фактору на якість результатів?
2. Яким чином можна зменшити похибки початкового розташування заготовок в робочій зоні ЛТУ? На яких датчиках створено системи автоматизованого позиціювання?
3. Безконтактні системи позиціювання заготовки в робочій зоні з використанням фотоелектричних датчиків.
4. Які переваги використання методу подвійного зображення для налаштування оптичної системи по відношенню до «мікроскопного» методу?
5. Яким чином вдається налагоджувати положення оптичних елементів із непрозорих матеріалів (*Ge, KCl, ZnSe* та ін.) відносно поверхні заготовки?
6. Які властивості лазерного променя полегшують автоматизацію контрольних переходів технологічної операції? Які датчики використовують для цієї цілі?
7. Наведіть схеми контролю течії процесу обробки за прямими та непрямыми його характеристиками.

Контрольні запитання та завдання

8. Який принцип виготовлення порожнин заданого розміру можна використати в разі перевищення поля розсіяння розміру оброблювальних порожнин величини його поля допуску, встановленого технічним завданням.
9. Яким чином організується технологічна операція з «підгонкою» розміру порожнини до заданого рівня?
10. Вимір якого прямого показника оброблювальної порожнини використовується для керування процесом обробки?
11. Який канал впливу на процес обробки порожнини більш ефективний для тонких заготовок?
12. Яка форма адаптивної організації технологічної операції використовується в запропонованих схемах обробки? Розділіть приведені схеми за контролем прямого та непрямого результату обробки.
13. Який показник контурного вирізання поперек порожнини використовується для адаптивної організації технологічної операції та за яким видом руйнування та видалення матеріалу із порожнини різку?
14. Наведіть схему автоматичної ЛТУ для обробки отворів в розпилювачах води з адаптивною формою організації операції.

Бібліографічний опис до розділу 3.4

112. Патент США № 3527198 В23К 26/00, оп. 18.07.1977р
113. Заявка Японії № 59-45090 В23К 26/02 від 13.03.1984р
114. Патент 41613 Україна, МКІ³ В23К 26/06. Пристрій для лазерної обробки отворів в металевих виробах [Текст] / В.П. Котляров, А.Аліверді № и 2009 01007 - 09.02.2009, оп. 25.05.2009 б.№10
115. Патент 73872 Україна МКІ³ G02В 27/02. Спосіб візуального фокусування оптичних систем на об'єкт [Текст] / В.П.Котляров, О.М. Процак № и 2012 03645 - 26.03.2012, оп. 10.10.2012, б.№190
116. Патент 88585 Україна МКІ³ В23К 26/00. Спосіб позиціювання лінз лазерних технологічних установок [Текст] / В.П.Котляров, Н.Коваленко № и 2013 11006 - 16.09.2013, оп.25.03.2014, б№ 6
117. А.с. 1455510 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Установка для лазерной обработки [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко, О.О.Кондауров (СРСР). – № 4263771 /27 ; заявл. 01.10.1988 ; (без публ.)
118. Заявка Японії № 61-7083 В23К 26/00, оп. 13.01.1986р
119. Заявка Японії № 61-60284 В23К 26/00, оп. 27.01.1986р
120. А.с. 1352803 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Спосіб контролю процесу лазерної пробивки наскрізних отворів [Текст] / В. П. Котляров, (СРСР). – № 4033638/27 ; заявл. 04.03.1986 ; (без публ.)
121. А.с. 816046 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Автоматизована установка для обробки отворів променем лазера [Текст] / В. П. Котляров, В.С.Коваленко (СРСР). – 2885459/25- 27; заявл. 25.02.1980 ; (без публ.)
122. А.с. 1176524 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Установка для пробивання отворів лазерним променем [Текст] / В.П.Котляров, В.М.Стоялов (СРСР). – 3717288 /25- 27; заявл. 07.03.1984 ; (без публ.)

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.1)

1. 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.
2. Завдання на СРС 2: Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням.
3. Завдання на СРС 3: Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу?
4. Завдання на СРС 4: Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка?
5. Завдання на СРС 5: Класифікація засобів та способів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається.
6. Завдання на СРС 6: Наведіть відомі або розробіть оригінальні приклади схем або конструкцій засобів підвищення якості та продуктивності лазерної обробки отворів. Використати патентну інформацію з шести країн (США, ФРН, Великобританія, РФ, Франція, Швейцарія).
7. Завдання на СРС 7: Навести вимоги до покриттів з позицій їх ефективності, зручності використання та утилізації. Обґрунтувати наведені якості та дати оцінку їх економічності.
8. Завдання на СРС 8: Вивести розрахункові залежності для забезпечення операції двосторонньої обробки з автоматичним зміненням сторони обробки в том числі для оцінки показників чутливості та якості повздовжньої форми отвору після ЛРО.

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.1)

9. Завдання на СРС 9: Вивести розрахункові залежності для забезпечення операції односторонньої обробки з автоматичним змінням умов опромінення в том числі для оцінки показників чутливості та якості повздожньої форми отвору після ЛРО.

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.2.)

1. 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).

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

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

4. Завдання на СРС 4: 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 променя або із його надмірною потужністю (за вибором студента).

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

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

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.2)

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

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

9. Завдання на СРС 9: 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.

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

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.2)

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

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.3)

1. Завдання на СРС 1: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного розкроювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням відомих рекомендацій.
2. Завдання на СРС 2: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.
3. Завдання на СРС 3: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різу (пазу).
4. Завдання на СРС 4: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різу (по товщині заготовки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів.
5. Завдання на СРС 5: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.
6. Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електролазерної обробки кільцевих пазів.
7. Завдання на СРС 7: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.
8. Завдання на СРС 8: Створити технологічне забезпечення операції формування розмірних пазів в заготовках із крихких матеріалів з виключенням їх розтріскування шляхом обмеження розтікання тепла із зони опромінення.

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.4)

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

2. Завдання на СРС 2: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для її використання в операції газолазерного 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.

3. 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)

4. 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.

5. 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.

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.4)

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

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

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

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

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

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

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.4)

12. 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.

13. 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.

14. Завдання на СРС 14: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготівки 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.

15. Завдання на СРС 15: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготівки 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".

16. 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.

Додаток до розділу 3 (завдання на СРС)

(розділ 3.4)

17. Завдання на СРС 17: Розробити конструкцію датчика відносного позиціювання 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.

18. 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.

Контрольні запитання та завдання

(розділ 3.1)

1. Яким чином зазвичай керують режимом роботи лазера і до яких наслідків це приводить?
2. Мотивуйте необхідність незалежного впливу на кожен параметр пучка випромінювання і чому потрібні для цього особливі методи налаштування режиму роботи лазера?
3. Через які механізми енергія накачування багатосторонньо впливає на енергію імпульсу випромінювання?
4. Який принцип покладено в основу параметричного керування енергетичними параметрами випромінювання?
5. Якими засобами можна впливати на тривалість імпульсу випромінювання?
6. Якими засобами в резонаторі і поза ним можна впливати на кут розбіжності пучка випромінювання?
7. Чи можна параметрично (без впливу на енергію та розбіжність) змінювати поперечний розмір пучка випромінювання?
8. В яких випадках доцільно використати додаткові методи та засоби вдосконалення ТО ЛРО? Визначити напрямки діяння на ТО та їх механізми.
9. За рахунок яких дій можна підвищувати ефективність та економічність ТО ЛРО? Чим відрізняються названі критерії операції?

Контрольні запитання та завдання

(розділ 3.1)

10. Як класифікуються методи підвищення ефективності ТО? Навести їх порівняльні оцінювання?

11. Як системно можна здешевити ТО ЛРО? Навести приклади реалізації методів та засобів впливу на техніко-економічний показник.

12. Які методи та засоби використовуються для стабілізації процесу діяння лазерного променя на час виконання ТО ЛРО? Навести схеми ТО та ескізи конструкцій засобів.

13. Які трансформатори використовуються в ТО та з якою метою? Порівняйте їх можливості та зручність в використанні.

14. Викласти принцип підтримання стабільності процесу обробки в ТО ЛРО з використанням явища дисперсії світла. Що дає його використання і які вимоги це накладає на лазерну техніку та технологію?

15. Що таке ремонт отворів в філь'єрах, ситах, дозувальних пристроях та витратних шайбах? Що заважає використовувати традиційну операційну схему? Який шлях використовують для забезпечення виконання ТО по ремонту отвору.

16. Чим можна укомплектувати ТО для розширення її можливостей та надання виробу додаткових властивостей?

17. Які технологічні схеми використовують для операцій лазерної обробки глибоких циліндричних отворів?

Контрольні запитання та завдання

(розділ 3.2)

1. Якими способами обробки можна досягти заданого рівня якості обробки порожнини (хвилястості та шорсткості поверхні її стінок, відсутності тріщин та ін.)?
2. Які причини та засоби усунення погрешностей поперечної форми порожнин?
3. Які причини та засоби усунення погрешностей подовжньої форми порожнин?
4. Яким чином можна керувати формою подовжнього профілю порожнини (не режимні засоби)?
5. Які похибки супроводжують ЛРО пазів та щілин та якими засобами можна усунути недоліки в їх формоутворенні.

Контрольні запитання та завдання

(розділ 3.3)

1. Якими способами обробки можна досягти заданого рівня якості обробки пазів (форми їх попереку, хвилястості та шорсткості поверхні стінок, відсутності тріщин та ін.)?
2. Які причини та засоби усунення погрішностей поперечної форми пазів після лазерної обробки?
3. Якими пристроями повинна бути наділена ЛТУ для прорізання пазів кільцевої або прямокутної подовжньої форми?
4. Яким чином можна керувати формою попереку пазів в операціях лазерної обробки (не режимні засоби)?
5. Які похибки супроводжують ЛРО пазів та щілин та якими засобами можна усунути недоліки в їх формоутворенні?
6. Яким чином впливає вид поляризації лазерного променя на результати контурного вирізання пазів та щілин? Які рекомендації можна запропонувати для зменшення або усунення впливу цього фактору?
7. Чи ефективно застосування додаткових видів енергії в операціях ЛРО для підвищення якості вирізання пазів та щілин? Які види енергетичних впливів застосовуються для підвищення якості операцій? Навести їх приклади.

Контрольні запитання та завдання

(розділ 3.4)

1. Які переходи технологічних операцій ЛРО потребують автоматизації з метою її об'легшення та виключення впливу людського фактору на якість результатів?
2. Яким чином можна зменшити похибки початкового розташування заготовок в робочій зоні ЛТУ? На яких датчиках створено системи автоматизованого позиціювання?
3. Безконтактні системи позиціювання заготовки в робочій зоні з використанням фотоелектричних датчиків.
4. Які переваги використання методу подвійного зображення для налаштування оптичної системи по відношенню до «мікроскопного» методу?
5. Яким чином вдається налагоджувати положення оптичних елементів із непрозорих матеріалів (*Ge, KCl, ZnSe* та ін.) відносно поверхні заготовки?
6. Які властивості лазерного променя полегшують автоматизацію контрольних переходів технологічної операції? Які датчики використовують для цієї цілі?
7. Наведіть схеми контролю течії процесу обробки за прямими та непрямыми його характеристиками.
8. Який принцип виготовлення порожнин заданого розміру можна використати в разі перевищення поля розсіяння розміру оброблювальних порожнин величини його поля допуску, встановленого технічним завданням.

Контрольні запитання та завдання

(розділ 3.4)

9. Яким чином організується технологічна операція з «підгонкою» розміру порожнини до заданого рівня?
10. Вимір якого прямого показника оброблювальної порожнини використовується для керування процесом обробки?
11. Який канал впливу на процес обробки порожнини більш ефективний для тонких заготовок?
12. Яка форма адаптивної організації технологічної операції використовується в запропонованих схемах обробки? Розділіть приведені схеми за контролем прямого та непрямого результату обробки.
13. Який показник контурного вирізання поперек порожнини використовується для адаптивної організації технологічної операції та за яким видом руйнування та видалення матеріалу із порожнини різку?
14. Наведіть схему автоматичної ЛТУ для обробки отворів в розпилювачах води з адаптивною формою організації операції.

Бібліографічний опис до розділу 3

38. Заявка Японії № 61-99506 В23К 26/18, оп.17.05.1986р
39. Заявка Японії № 50-37918 В26F 1/30, оп. 05.12.1975р
40. Заявка Японії № 61-108487 В23К 26/00, оп. 27.05.1986р
41. Заявка Японії № 59-127984 В23К 26/10, оп.23.07.1984р
42. Заявка Японії № 48-26280 В23F 4/30, оп. 08.08.1973р
43. А.с. СРСР № 233100 МКІ³ В23К 26/00 оп. 01.10.1967р
44. А.с. 957508 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Спосіб обробки матеріалів лазерним випромінюванням [Текст] / В.П.Котляров (СРСР), №2936329/25-27; заявл. 09.06.1980р. (без публ.)
45. А.с. 970792 СРСР, МКІ³ В26К 26/00. Установка для пробиття отворів лазерним променем в прозорих матеріалах [Текст] / В.П.Котляров, (СРСР), №. 3266918/25-27 ; заявл. 31.03.1981р., (без публ.)
46. Патент Франції № 2033105 В26F 1/30, оп. 03.08.1970р
47. Заявка Японії № 56-160893 В23К 26/18, оп.10.12.1981р
48. Заявка Японії № 61-99506 В23К 26/18, оп.17.05.1986р
49. Заявка Японії № 50-37918 В26F 1/30, оп. 05.12.1975р
50. Патент 2118925 РФ, МКІ³ В23К 26/02. Способ лазерной технологической обработки материалов [Текст] / С.К.Семенов, Д.Б.Охрименко - № 97109218/02 заявл. 03.06.1997 ; опубл. 20.09.1998, бюл. 3 с. : іл.
51. А.с. 1037512 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Спосіб лазерної обробки матеріалів, прозорих для лазерного випромінювання [Текст] / В.П.Котляров, М.І.Анякін (СРСР), №3396222/25-27; заявл. 15.02.1985р. (без публ.)
52. Заявка Японії № 48-44459 В26F 1/26, оп. 25.12.1973р
53. А.с. 1349124 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Спосіб гравіювання матеріалів [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, М.І.Анякін (СРСР), №3899558/25-27 ; заявл. 24.05.1985р. (без публ.)

Бібліографічний опис до розділу 3

54. А.с. 809731 СРСР МКІЗ В23К 26/12. Спосіб обробки матеріалів лазерним випромінюванням [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, В.В.Романенко (СРСР) - №2796796/25-27 ; заявл. 13.07.1979р. (без публ.)
55. А.с. 745104 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Сопло фокусуючого пристрою для газолазерної обробки матеріалів [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, В.І.Волгін (СРСР), №2699464/25-27 ; заявл. 21.12.1978р. (без публ.)
56. Заявка Японії № 61-106708 С21В 1/09, оп. 29.05.1986р
57. Патент Швейцарії № 611192 В23К 26/00, оп. 31.05.1979р
58. А.с. 792732 СРСР, МКІЗ В23К 26/00. Пристрій для обробки отвору випромінюванням лазера [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко (СРСР). – № 2713994/25–27 ; заявл. 17.01.1979 ; (без публ.).
59. Патент РФ №1299025 МКІ³ В23К 26/00. Спосіб лазерної обробки [Текст] / В.И.Кравченко, Г.А.Галич, Ю.Н.Пархоменко (РФ). – 3870158/27 ; заявл. 21.03.1985; опубл. 27.11.1995
60. Заявка Японії № 54-18798 В23К 26/00, оп. 10.07.1979р
61. Заявка Японії № 54-18797 В23К 26/00, оп. 10.07.1979р
62. Петров М. Лазерная обработка материалов в электронике. Сб.: Компоненты и технологии, 19.10.2000, №.10
63. Заявка Японії № 58-135786 В23К 26/00, оп. 12.08.1983р
64. А.с. 1176532 СРСР МКІ³ В23К 26/14. Пристрій для лазерної обробки [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, М.І.Анякін (СРСР) - №3725705 /27 ; заявл. 13.04.1984. (без публ.)
65. А.с. СРСР № 213517 С23С 17/00, оп. 19.02.1974р
66. А.с. 1169277 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Спосіб лазерного пробивання отворів [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко, М.І.Анякін (СРСР). – № 3700736 /– 27 ; заявл. 04.03.1985 ; (без публ.)

Бібліографічний опис до розділу 3

67. А.с. 1185770 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Спосіб лазерного пробивання отворів [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко, М.І.Анякін (СРСР). – № 3718340 /27 ; заявл. 15.06.1985 ; (без публ.)
68. Заявка Японії № 58-32591 В23К 26/00, оп. 25.02.1983р
69. Заявка Японії № 56-144890 В23К 26/00, оп. 11.11.1981р
70. А.с. 1140356 СРСР МКІ³ В23К 26/00 / Пристрій для лазерної обробки [Текст] / Є.Д.Вакс, Б.М.Соколов, Н.Е.Соколова (СРСР) - №3684654/27; 04.01.1984 . опубл. 27.01.1997
71. Патент США № 4410008 В23К 27/00, оп. 12.06.1984р
72. Заявка Японії № 50-21717 В26F 1/30, оп. 24.07.1975р
73. Патент США № 4267427 В23К 27/00, оп. 12.05.1981р
74. Заявка Японії № 52-156431 В23К 27/00, оп. 21.12.1977р
75. Заявка Японії № 58-9782 В23К 26/00, оп. 20.01.1983р
76. Заявка Японії № 56-128691 В23К 26/04, оп. 08.10.1981р
77. Заявка Японії № 61-82987 В23К 26/00, оп. 26.04.1986р
78. Патент США № 4288769 В23К 26/16, оп. 08.09.1981р
79. Патент Великобританії № 247666 В23К 27/80, оп. 23.03.1971р
80. А.с. СРСР № 189083 В23К 26/00, оп. 12.08.1967р
81. Заявка Японії № 55-33886 В23К 26/00, оп. 10.03.1980р
82. Заявка Японії № 56-42393 В23К 26/16, оп. 09.05.1981р
83. Заявка Японії № 58-218387, В23К 26/00, оп. 19.12.1983р
84. Заявка Японії № 57-42433 В23К 26/00, оп. 08.09.1981р
85. Патент 42516 Україна, МКІ³ В23К 26/06. Спосіб лазерної обробки отворів в металевих заготовках [Текст] / В.П. Котляров, Хамеді - № u 2009 00916 ; заявл. 06.02.2009 ; опубл. 10.07.2009 , бюл. №13. 3 с. : іл.

Бібліографічний опис до розділу 3

86. Патент 42519 Україна, МКІ³ В23К 26/06. Пристрій для лазерної обробки отворів в металевих виробх [Текст] / В.П. Котляров, А.Аліверді, І.Вахдатінія - № u 2009 00919 ; заявл. 06.02.2009 ; опубл. 10.07.2009 , бюл. №13. 3 с.: іл.
87. Заявка Японії № 49-22577 В26F 1/30, оп. 08.06.1974р
88. Заявка Японії № 58-58987 В23К 26/00, оп. 07.04.1983р
89. Заявка Японії № 48-21796 Н01S 1/04, від. 30.04.1973р
90. Заявка Японії № 61-88991 В23R 26/00, оп. 07.05.1986р
91. Заявка Японії № 51-3955 В26F 3/14, оп. 06.02.1976р
92. Заявка Японії № 59-76687 В23К 26/00, оп. 01.05.1984р
93. Заявка Японії № 58-224090 В23К 26/00, оп. 26.12.1983р
94. Заявка Японії № 61-38698 В23К 26/00, оп. 09.07.1986р
95. Заявка Японії № 58-38698 В23К 26/02, оп. 07.03.1983р
96. Заявка Японії № 59-150691 В23К 26/08, оп. 28.08.1984р
97. Заявка Японії № 58-16786 В23К 26/06, оп. 31.01.1983р
98. Заявка Японії № 58-196188 В23К 26/00, оп. 15.11.1983р
99. Заявка Японії № 61-86090 В23К 26/14, оп. 01.05.1986р
100. Заявка Японії № 61-37391 В23К 26/00, оп. 22.02.1986р
101. Заявка ФРН № 2506645 В23К 26/14, оп. 03.12.1982р
102. Заявка Японії № 56-154290 В23К 26/00, оп. 28.11.1981р
103. Заявка Японії № 59-191587 В23К 26/12, оп. 30.10.1984р
104. Патент США № 4167602 В23К 9/00, оп. 11.09.1979р
105. Заявка Японії № 57-138600 В23F 3/06, оп. 26.08.1982р
106. А.с. 1202176 СРСР МКІ³ В23К 26/12. Спосіб газолазерної резки горючих матеріалів [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, В.В.Романенко (СРСР) - №3773544 /25-27 ; заявл. 20.06.1984р. (без публ.)

Бібліографічний опис до розділу 3

107. Патент США № 4125757 В23К 26/02, оп. 14.11.1978р
108. Заявка Японії № 59-27792 В23К 27/00, оп. 14.02.1984р
109. Заявка Японії № 61-126987 В23К 26/00, оп. 14.06.1986р
110. Заявка Японії № 61-33785, В23К 26/00, оп. 17.02.1986р
111. Заявка Японії № 56-6794 В23К 26/00, оп. 23.01.1981р
112. Патент США № 3527198 В23К 26/00, оп. 18.07.1977р
113. Заявка Японії № 59-45090 В23К 26/02 від 13.03.1984р
114. Патент 41613 Україна, МКІ³ В23К 26/06. Пристрій для лазерної обробки отворів в металевих виробах [Текст] / В.П. Котляров, А.Аліверді № и 2009 01007 - 09.02.2009, оп. 25.05.2009 б.№10
115. Патент 73872 Україна МКІ³ G02В 27/02. Спосіб візуального фокусування оптичних систем на об'єкт [Текст] / В.П.Котляров, О.М. Процак № и 2012 03645 - 26.03.2012, оп. 10.10.2012, б.№190
116. Патент 88585 Україна МКІ³ В23К 26/00. Спосіб позиціювання лінз лазерних технологічних установок [Текст] / В.П.Котляров, Н.Коваленко № и 2013 11006 - 16.09.2013, оп.25.03.2014, б.№ 6
117. А.с. 1455510 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Установа для лазерної обробки [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко, О.О.Кондауров (СРСР). – № 4263771 /27 ; заявл. 01.10.1988 ; (без публ.)
118. Заявка Японії № 61-7083 В23К 26/00, оп. 13.01.1986р
119. Заявка Японії № 61-60284 В23К 26/00, оп. 27.01.1986р
120. А.с. 1352803 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Спосіб контролю процесу лазерної пробивки наскрізних отворів [Текст] / В. П. Котляров, (СРСР). – № 4033638/27 ; заявл. 04.03.1986 ; (без публ.)

Бібліографічний опис до розділу 3

- 121.А.с. 816046 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Автоматизована установка для обробки отворів променем лазера [Текст] / В. П. Котляров, В.С.Коваленко (СРСР). – 2885459/25- 27; заявл. 25.02.1980 ; (без публ.)
- 122.А.с. 1176524 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Установка для пробивання отворів лазерним променем [Текст] / В.П.Котляров, В.М.Стоялов (СРСР). – 3717288 /25- 27; заявл. 07.03.1984 ; (без публ.)