

Лазерна розмірна обробка

Додатки до кредитного модуля

Презентація 9

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»)

Додатки

Додаток А до кредитного модуля
дисципліни

През. №9, сл.№3

Додаток Б до кредитного модуля
дисципліни

През. №9, сл.№35

Завдання на СРС

През. №9, сл.№48

Бібліографічний опис

През. №9, сл.№69

Додаток А до КМ дисципліни

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ)

А. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (КП):

1. Спроекувати технологічну операцію обробки елемента виробу (отвір, лунка, щілина, паз) в партії деталей:
 - визначити (мотивовано) *метод обробки* з урахуванням його розмірних можливостей, досягаємих показників якості та продуктивності;
 - розробити *технологічну схему* формоутворення елемента виробу визначеної в **технічному завданні** (ТЗ) на проектування форми (поперечної та повздовжньої), якості та продуктивності;
 - визначити склад *технологічної операції* (перелік тв. порядок переходів), її місце в технологічному процесі виготовлення виробу;
 - розрахувати або обрати *режими обробки* на кожному з переходів технологічної операції за мотивованою методикою, яка враховує складність ТЗ, його відмінності від відомих розробок;
 - визначити на схемі Технологічної Системи, що Обробляє (ТОС), *напрямки та шляхи модернізації* складових ЛТУ, необхідної для досягнення ТЗ.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ)

А. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (КП):

2. Спроекувати ЛТУ для реалізації розробленої технологічної операції:

- обґрунтувати вибір **типу технологічного устаткування** для обраного *методу обробки* з урахуванням його ефективності при рішенні технологічної задачі за розмірними можливостями, за якісними показниками, які потрібно досягти, та продуктивністю;
- визначити **склад лазерного технологічного устаткування (ЛТУ)**, в тому числі:
 - **тип лазера** (за довжиною хвилі, за режимом роботи, за параметрами пучка випромінювання);
 - склад **технологічного блока** (блока оперативного контролю параметрів пучка випромінювання та керування роботою лазера);
 - склад **технологічного модуля**: кількість та тип приводів відносного позиціонування або переміщення інструмента – пучка лазерного випромінювання та заготівки, і його компоновку;
 - розробити **проект модернізації обраного ЛТУ** для його спеціалізації під розроблену операцію;
 - визначити **метод та пристрої для перетворення пучка лазерного випромінювання в інструмент**;
- **обґрунтувати вибір виду перетворюючих елементів** (на дзеркальній, прозорій оптиці або їх комбінації);
- розрахувати **параметри перетворюючих елементів** та виконати їх проектування;
- скласти **технічне завдання (ТЗ)** на потрібне технологічне оснащення:
 - **контрольні або вимірювальні пристрої** для автоматизації технологічної операції;
 - **установочні елементи** для оперативного розташування заготівки в робочій зоні;
 - **скануючий вузол** для полегшення реалізації технологічної схеми обробки та підвищення продуктивності операції;
 - **розробити конструкцію одного з пристроїв** із запропонованих в ТЗ.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

СКЛАД КП:

Розрахунково – пояснювальна записка – повинна відобразити всі етапи матеріального оснащення розробленої операції (аналізи, мотивування рішень, розрахунки, опис схем, конструкцій, тощо). Об'єм РПЗ – до 50 аркушів.

Графічна частина – технологічні листи (операційні ескізи); блок схема ЛТУ, загальний вигляд модернізованого варіанту ЛТУ; загальний вигляд розробленого пристрою. Об'єм графічної частини – до 3 аркушів формату А1.

Б. ТЕХНІЧНІ ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ (КП):

Примітки:

Варіативність завдань збільшується за рахунок варіантів, в тому числі зміною кількісних показників технічного завдання..

Зміст графічної частини (до трьох аркушів формату А1) визначається викладачем після виконання практичної частини завдання.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №1

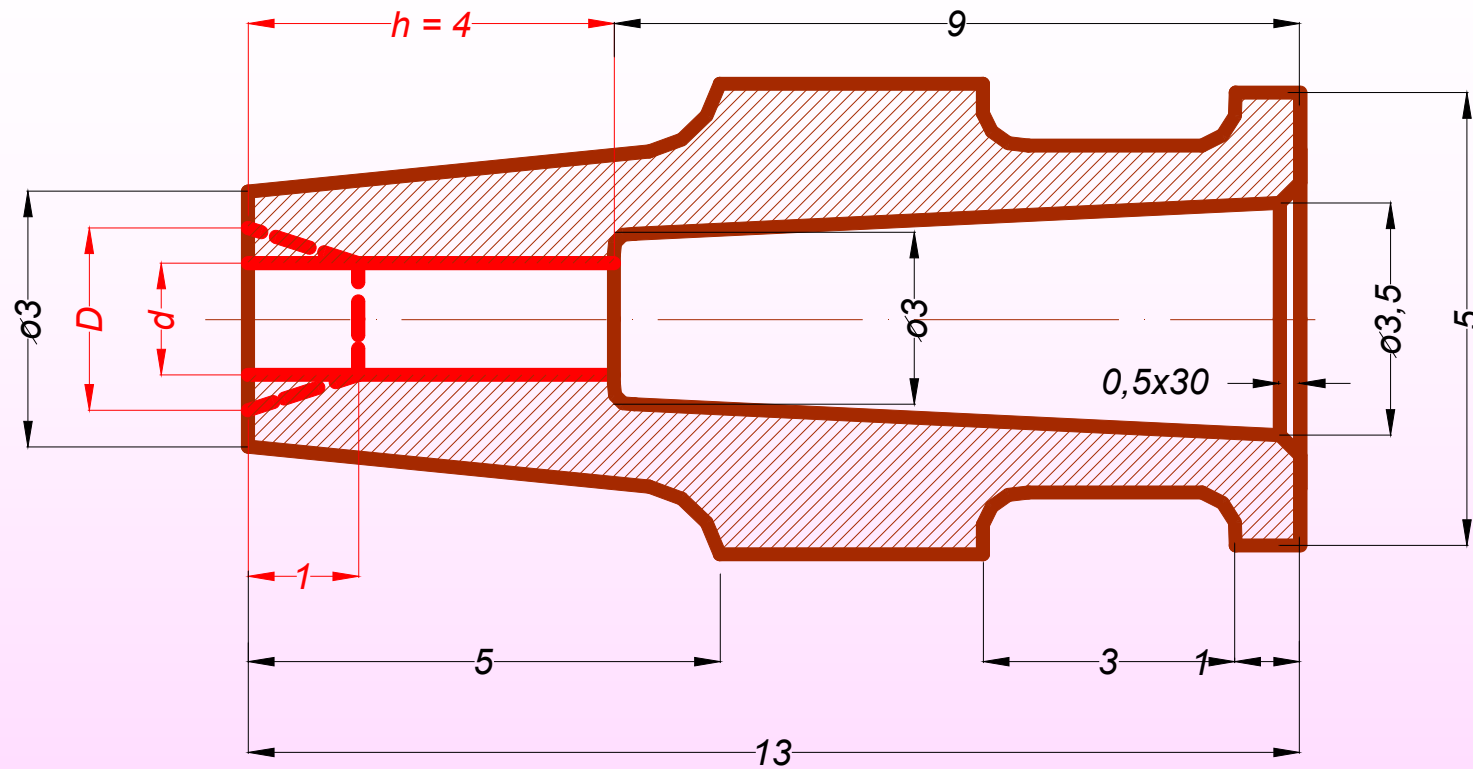
Спроекувати технологічну операцію обробки отворів в заготівці корпусу ін'єкційної голки багаторазового використання (рис. 1). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами)).

Спроекувати лазерне технологічне устаткування (ЛТУ) та оснащення для обробки отворів в заготівці корпусу ін'єкційної голки багаторазового використання .

Додаткові вимоги:

- річна програма повинна бути виконана за умови використання однієї ЛТУ при двох змінній її роботі;
- похибка поперечної та повздожньої форми обмежується величиною поля допуску на розмір отвору.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)



Варіанти	$d_{\text{НОМ}}$	$lt(d)$	k	D	$lt(h)$	План випуску
Розмірність	мм	мм	мм	мм	мм	шт/рік
1	0,4H12	0,12	0,40	0,80	0,12	500 000
2	0,6H12	0,15	0,40	1,00	0,12	1.000 000
3	0,8H12	0,18	0,40	1,20	0,12	5. 000 000

Рис.1. Корпус ін'єкційної голки (матеріал - латунь ЛС-59)

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №2

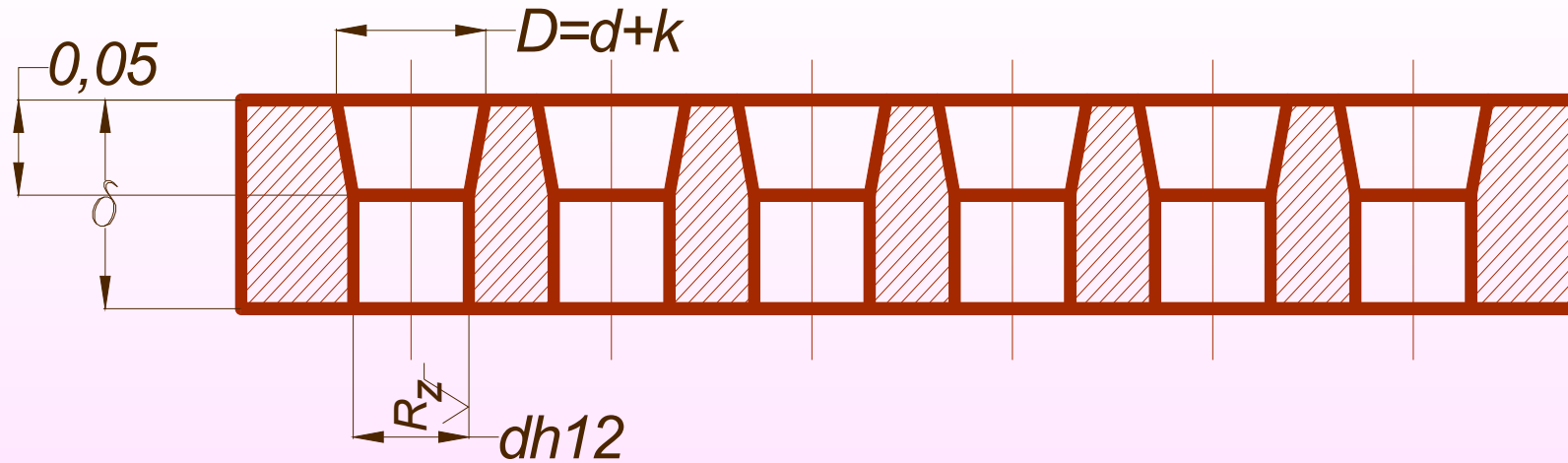
Спроекувати технологічну операцію обробки отворів в стінці елемента з повітряним охолодженням (рис. 2). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл..(за варіантами)).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки отворів в стінці елемента з повітряним охолодженням.

Додаткові вимоги:

- матеріал заготовки – нержавіюча сталь 1Х18Н9Т;
- річна програма повинна бути виконана за умови використання однієї ЛТУ при двох змінній її роботі;
- похибка поперечної та повздожньої форми обмежується величиною поля допуску на розмір отвору.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)



Варіанти	$d_{\text{НОМ}}$	$lt(d)$	k	D	R_z	Програма випуску	Товщина δ
Розмірність	мм	мм	мм	мм	мкм	шт./рік	мм
1	0,04H12	0,012	0,04	0,08	3,2	50 000	0,1
2	0,06H12	0,015	0,04	0,10	3,2	100 000	0,1
3	0,08H12	0,018	0,04	0,12	6,4	500 000	0,2

Рис. 2. Фрагмент стінки з повітряним охолодженням (сталь Ст.3)

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №3

Спроекувати технологічну операцію обробки системи отворів в заготівці діафрагми для електронного мікроскопу (рис. 3). (Технічні вимоги до отворів наведено на рисунку).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки системи отворів в заготівці діафрагми для електронного мікроскопу.

Додаткові умови:

- матеріал заготівки діафрагми – тантал (Ta), товщина 0,02мм;
- допуски на розміри: отворів Н10, лінійні $\pm 0,05$ мм

**Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) –
(подовження)**

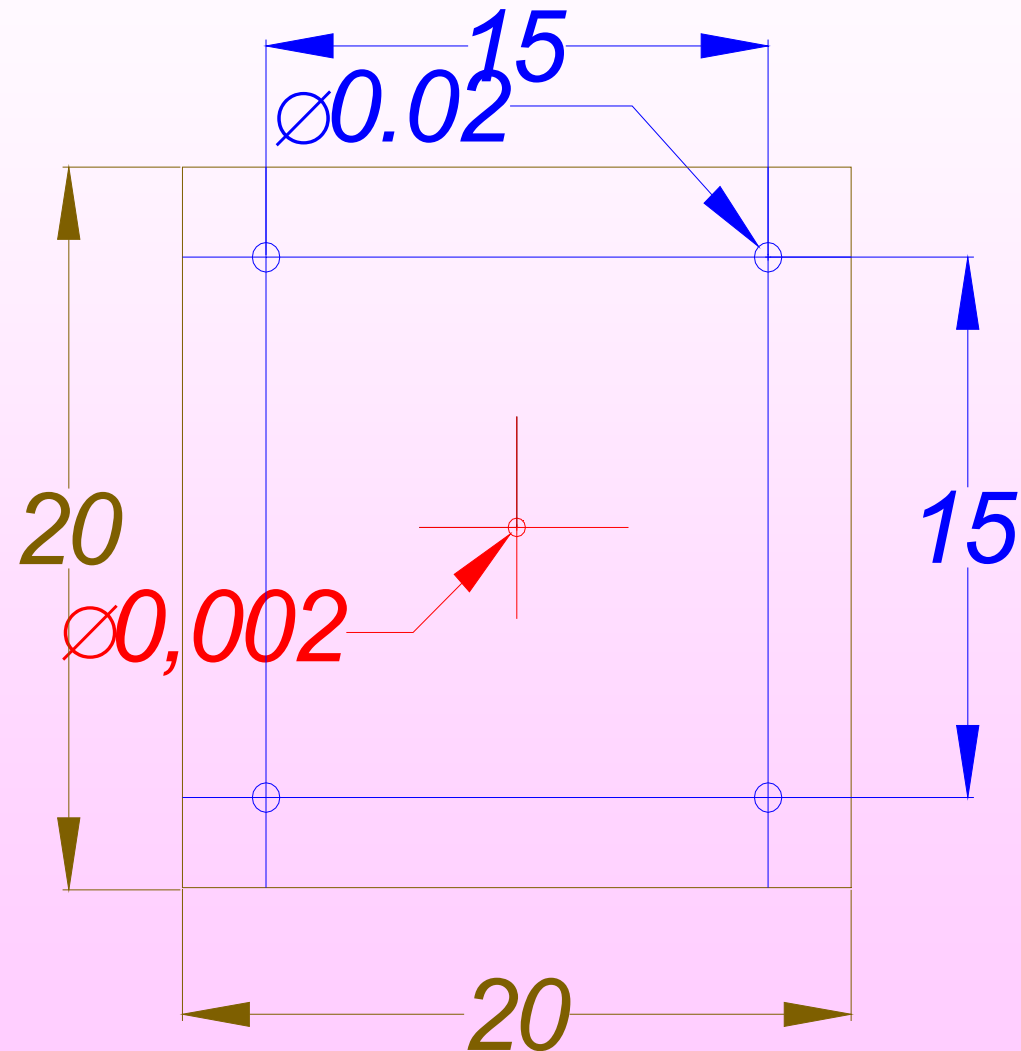


Рис. 3. Діафрагма для електронного мікроскопу

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №4

Спроекувати технологічну операцію обробки отворів в заготівці розпилювача палива дизеля (форсунці) (рис. 4). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки отворів в заготівці розпилювача палива дизеля.

Додаткові умови:

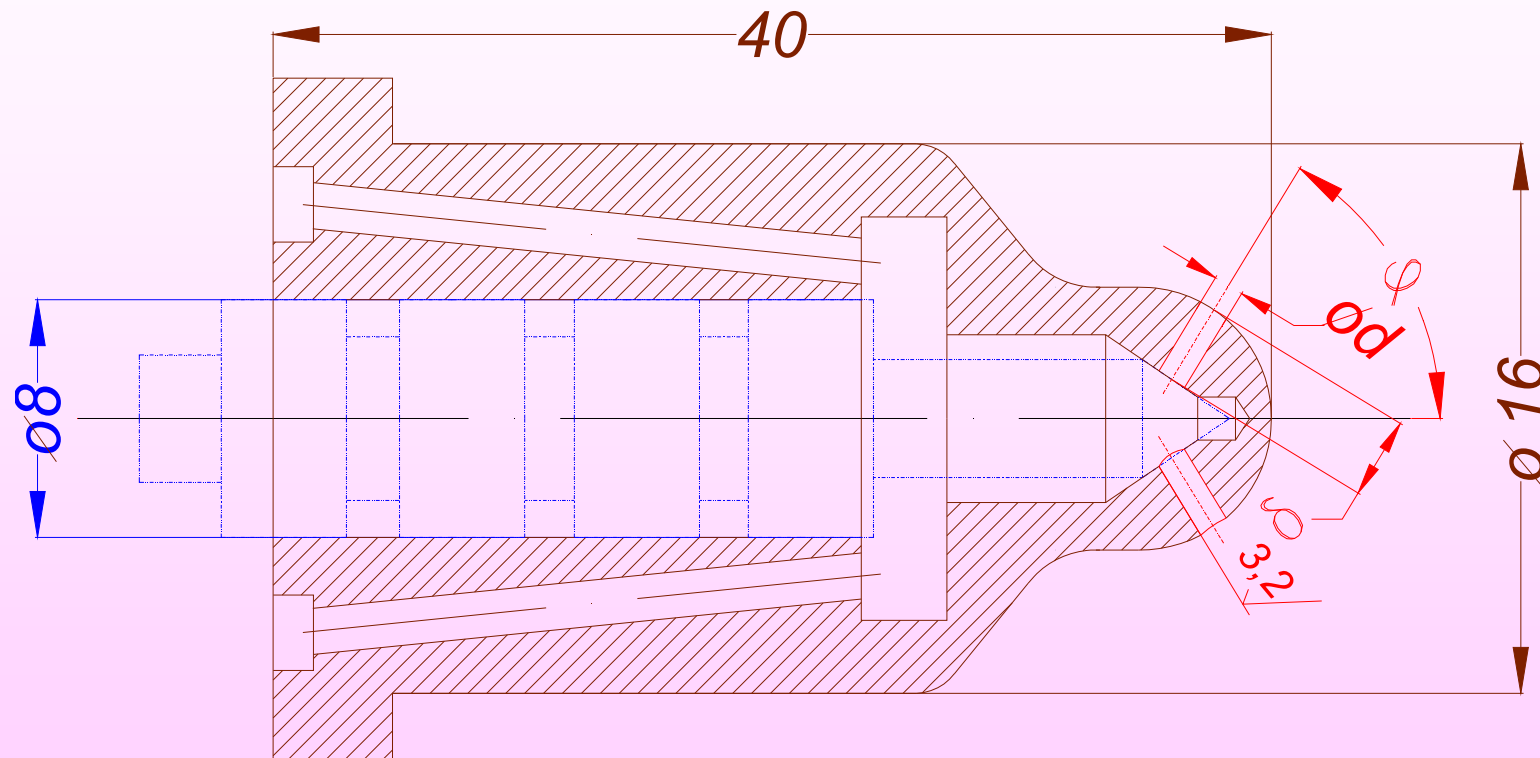
- матеріал заготівки корпусу – жаростійка сталь 18Х2Н4ВА з термічною обробкою: цементація на глибину d із загартуванням матеріалу в межах товщини шару до твердості HRC = 62-65;

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) - подовження

Таблиця

Варіант	Діаметр d, мм	Допуск, мм	Кількість отворів	Кут нахилу, град.	Товщина стінки, мм
1	0,40	$\pm 0,01$	5	змінний	$0,8^{+0,1}$
2	0,25	$\pm 0,01$	8	59	$2,0^{+0,15}$
3	0,35	$\pm 0,01$	7	59	$2,0^{+0,15}$
4	0,60	$\pm 0,02$	3	40	$1,5^{+0,12}$

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)



4. Типова конструкція корпусу розпилювача дизельного палива

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №5

Спроекувати технологічну операцію обробки отворів в заготівці інжектора газового різача (рис. 5). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами)).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки отворів в заготівці інжектора газового різача.

Додаткові умови:

- матеріал заготівки інжектора – латунь Л59С
- річна програма (50 000 штук) повинна бути виконана за умови використання однієї ЛТУ при двох змінній її роботі;

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Варіант	Діаметр отвору d, мм	Допуск It(d), мм	Конусо подібність k, мм	Вхідна частина h, мм	Товщина стінки, δ , мм
1	0,12	$\pm 0,01$	0,05	0,5	$1,5^{+0,05}$
2	0,25	$\pm 0,02$	0,05	0,5	$2,0^{+0,15}$
3	0,75	$\pm 0,03$	0,10	1,0	$3,0^{+0,18}$
4	0,89	$\pm 0,04$	0,10	1,0	$3,0^{+0,18}$

**Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) –
(подовження)**

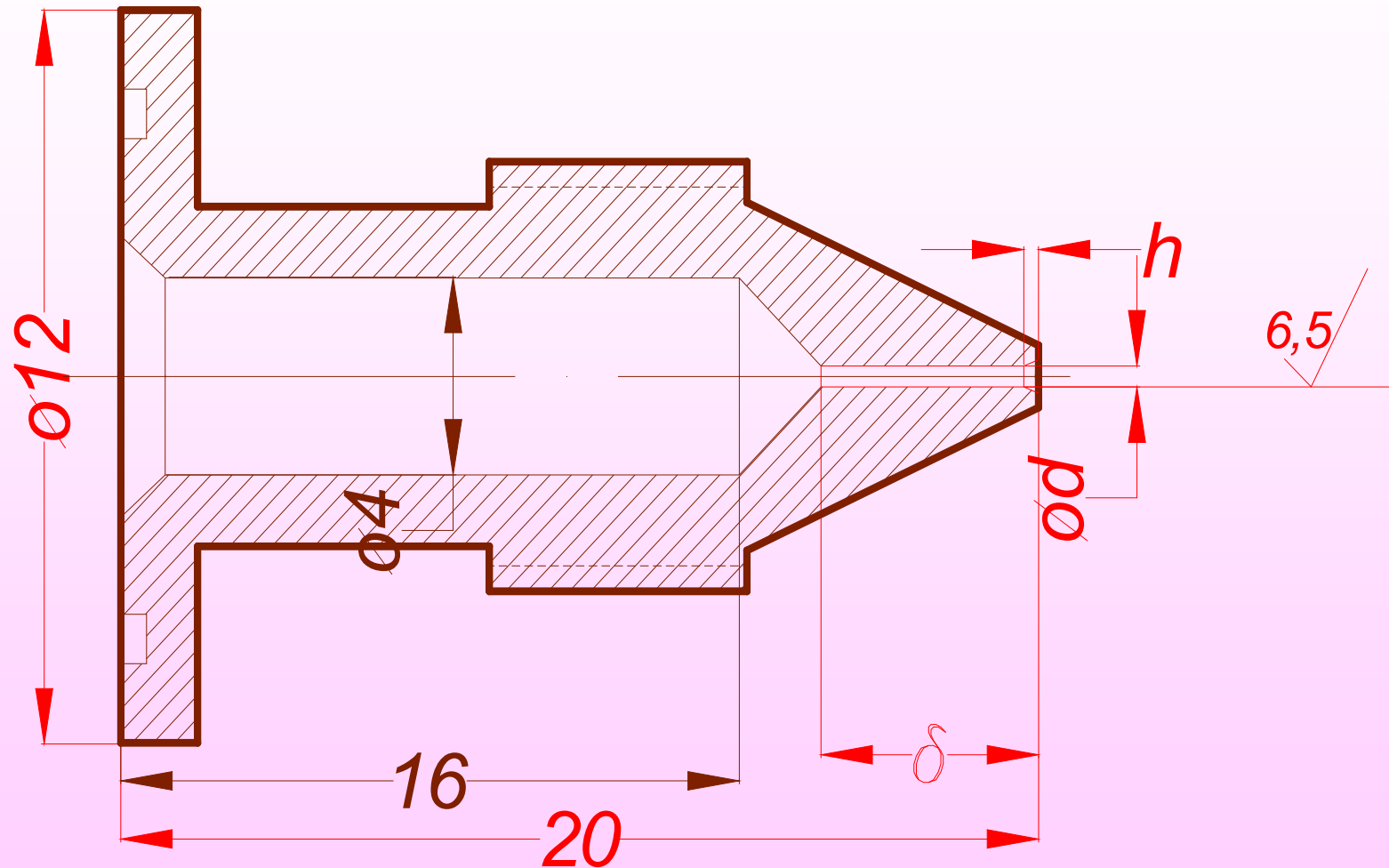


Рис. 5. Типова конструкція інжектора газового різачка

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №6

Спроекувати технологічну операцію обробки системи отворів в заготівці сита для сортування кристалів за їх розмірами (рис. 6) (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами)).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки системи отворів в заготівці сита для сортування кристалів за їх розмірами (рис. 6).

Додаткові дані:

- річна програма (100 000штук) повинна бути виконана за умови використання однієї ЛТУ при двох змінній її роботі;

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Таблиця

Варіант	Діаметр отворів, d, мм	Допуск It(d), мм	Кількість отворів, N, шт	Товщина дна δ , мм	Матеріал заготовки	Примітка
1	0,4H12	0,12	64	0,1 ^{+0,02}	Латунь Л59	
2	0,6H12	0,15	64	0,2 ^{+0,02}	ЛатуньЛ59	
3	0,8H12	0,18	64	0,3 ^{+0,04}	Латунь Л59	
4	0.3H12	0,10	64	0,4 ^{+0,05}	Кераміка 22ХС	
5	0,5H12	0,14	64	0.5 ^{+0,05}	Кераміка 22ХС	

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

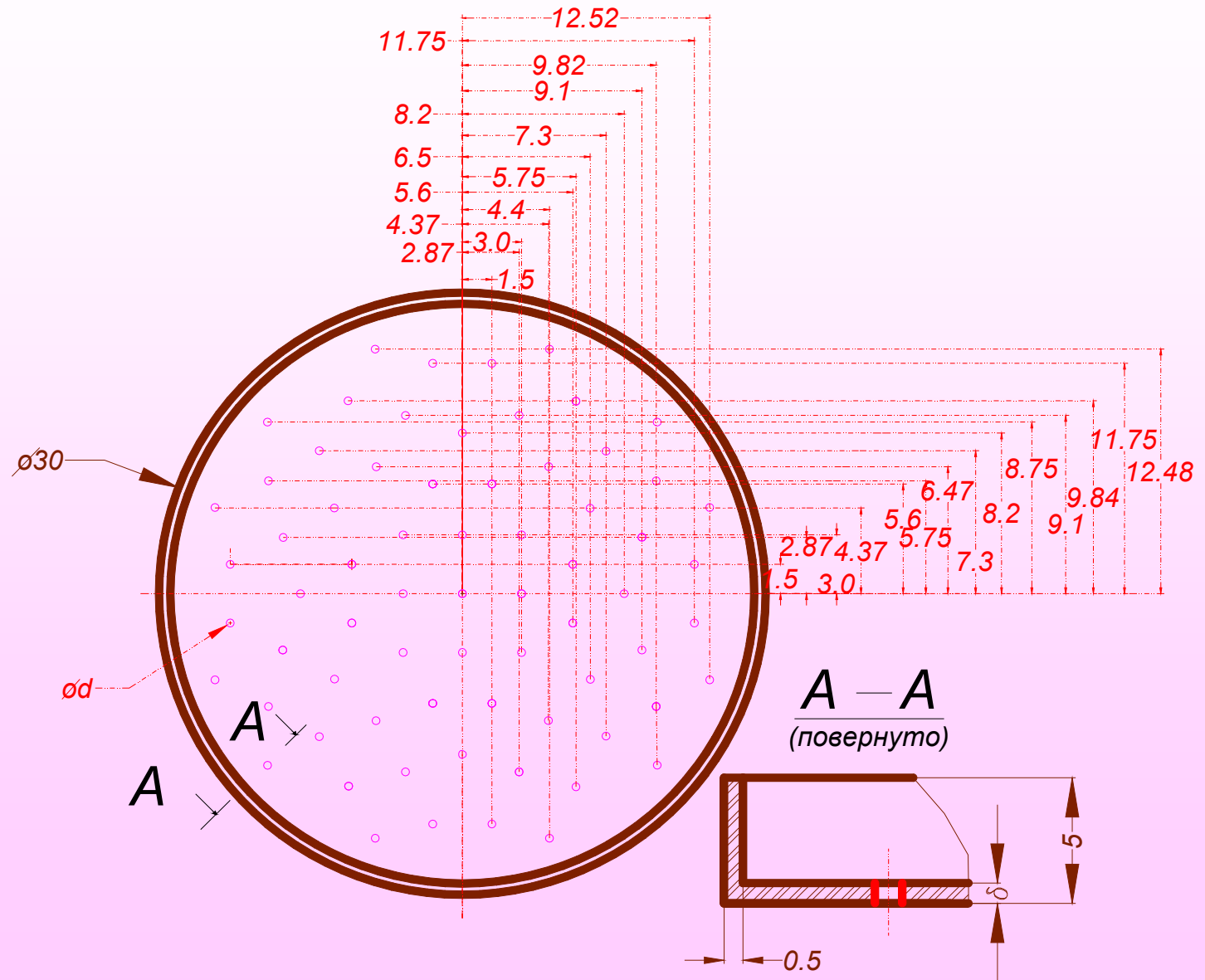


Рис. 6. Типова конструкція сита для сортування кристалів

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №7

Спроекувати технологічну операцію обробки системи отворів в заготівці аналізатора дозування ліків у тілі пацієнта за їх розмірами (рис. 7). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами)).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки системи отворів в заготівці аналізатора дозування ліків у тілі пацієнта за їх розмірами.

Додаткові дані:

- матеріал голки аналізатора – нержавіюча сталь 1Х18Н9Т;
- не допускаються грат у вхідної частини отвору, задирки та гострі кромки;
- виробництво – мілко серійне.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Таблиця

Варіант	Діаметр голки, D мм	Товщина стінки, δ мм	Діаметр отвору, d мм	Крок S лінійний, мм	Крок φ кутовий град	Загальна кількість отворів, N
1	0,4	0,05	0,010	0,015	5	72072
2	0,5	0,05	0,010	0,015	4	90090
3	0,6	0,10	0,015	0,020	4	67590
4	0,8	0,10	0,015	0,020	3	90120

**Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) –
(подовження)**

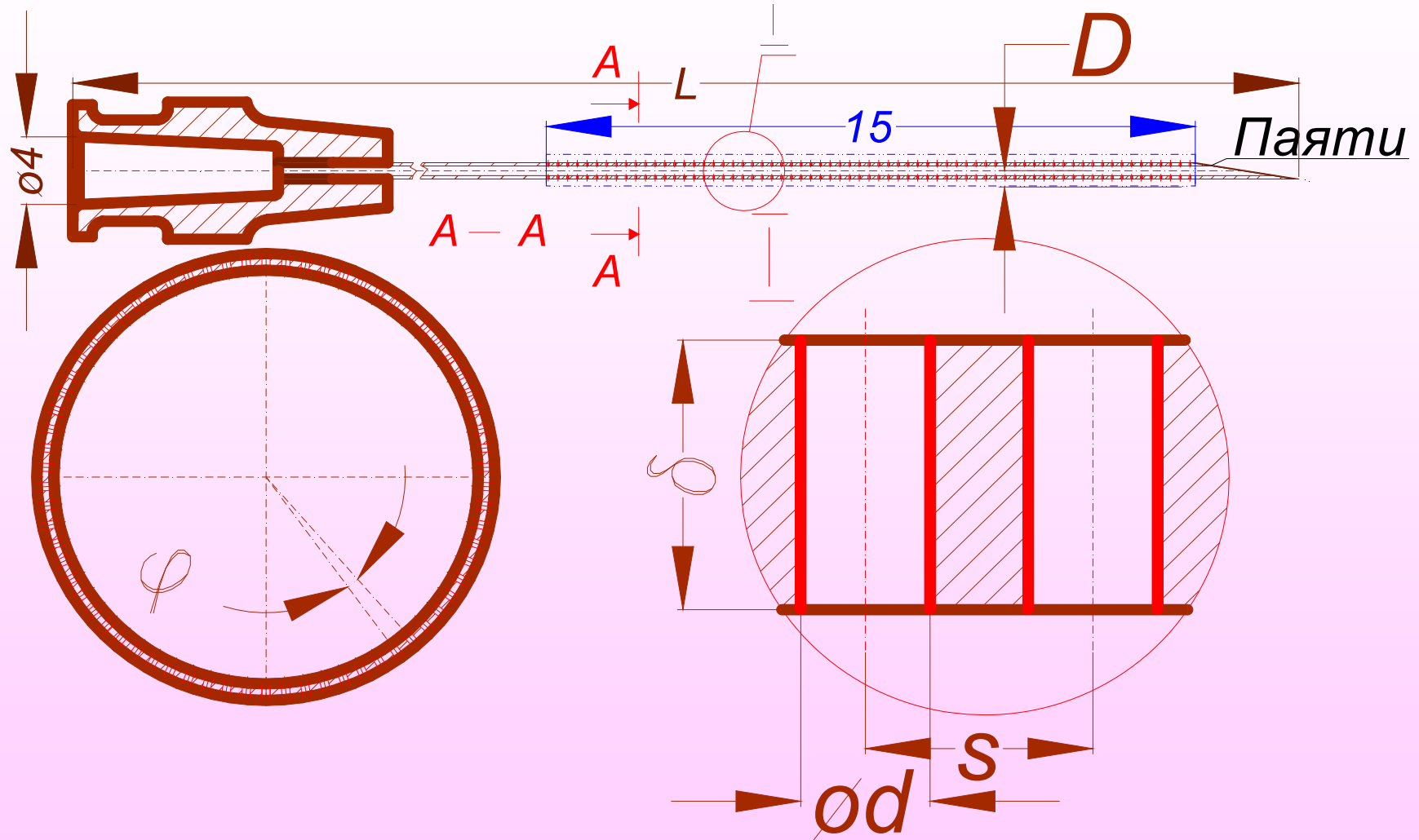


Рис. 7. Голка - аналізатор парціального тиску ліків у м'язах

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №8

Спроекувати технологічну операцію обробки системи отворів в заготівці вкладишу шинної прес форми (рис. 8). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами)).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки системи отворів в заготівці вкладишу шинної прес форми.

Додаткові дані:

- матеріал вкладишів прес-форми: сталь Ст3;
- обробка виконується із внутрішньої сторони вкладишу;
- річна програма прес-форм визначається продуктивністю однієї ЛТУ.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

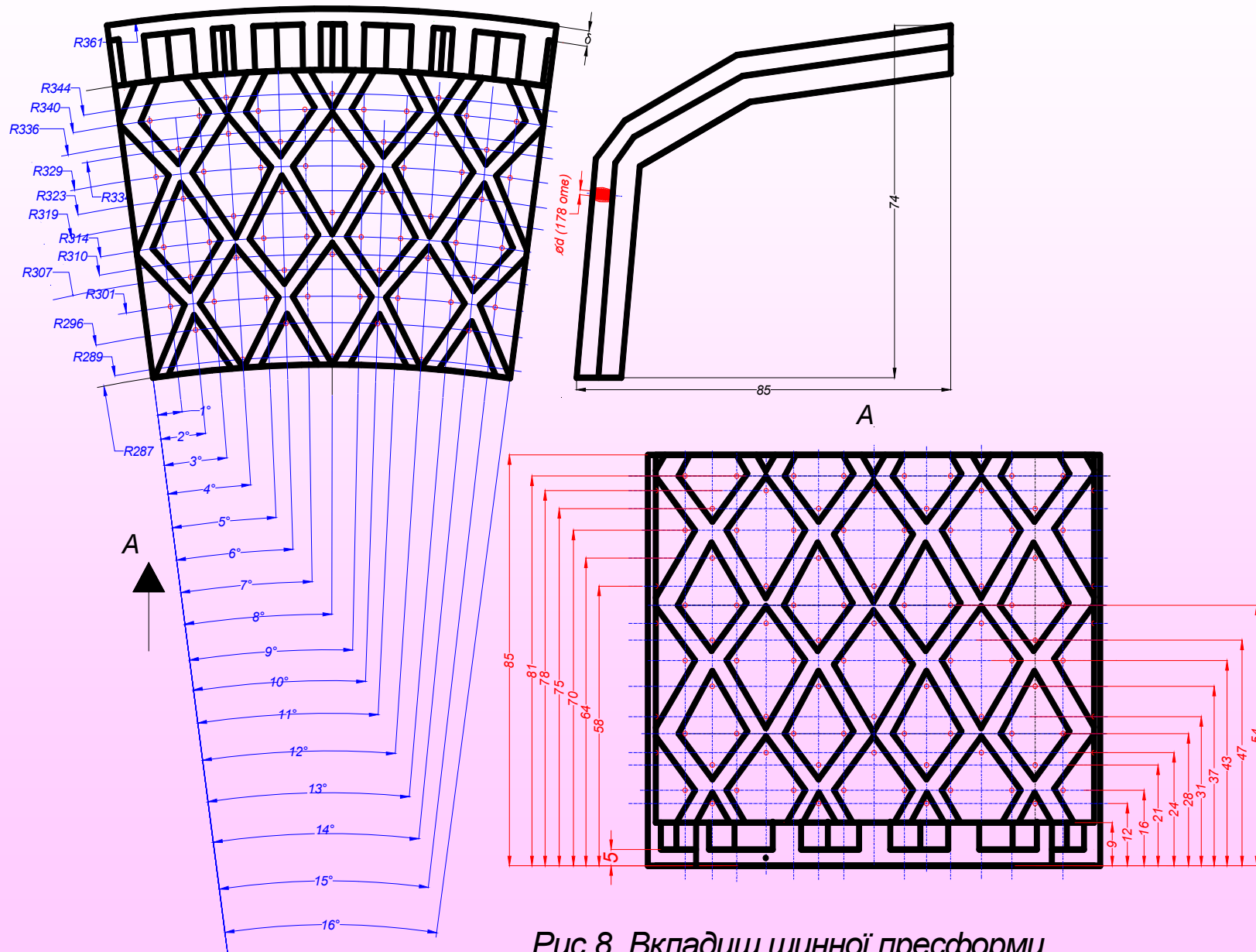


Рис.8. Вкладиш шинної пресформи

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Таблиця

Варіант	Діаметр отвору, d, мм	Поле допуску It(d)	Товщина стінки, δ , мм	Конусоподібність отвору, k, мм	Кількість лунок* в заготівці
1	0,8H12	0,18	8	0,3	169
2	0,6H12	0,15	6	0,3	169
3	0,5H12	0,13	5	0,2	169
4	0,4H12	0,12	5	0,1	169

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №9

Спроекувати технологічну операцію обробки системи лунок (не наскрізних отворів) в заготівці плунжеру паливного насосу дизеля за їх розмірами (рис. 9). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами)).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки системи лунок (не наскрізних отворів) в заготівці плунжеру паливного насосу дизеля за їх розмірами .

Технічні вимоги до отворів наведено в таблиці (за варіантами).

Додаткові дані:

- матеріал плунжеру 1Х18Н9Т;
- термічна обробка – загартування до твердості HRc = 55-60;
- річна програма 10 000штук.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Таблиця

Варіант	Діаметр D, мм	L, мм	Діаметр лунки d, мм	Глибина лунки h, мм	Крок S, мм	Кутовий крок φ , град	Кількість лунок N
1	6	12	0,02	0,03	0,03	0,6	240 000
2	8	15	0,025	0,04	0,035	0,5	270 000
3	10	18	0,03	0,05	0,04	0,48	337 500
4	12	20	0,035	0,06	0,05	0,48	300 000

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) –
(подовження)

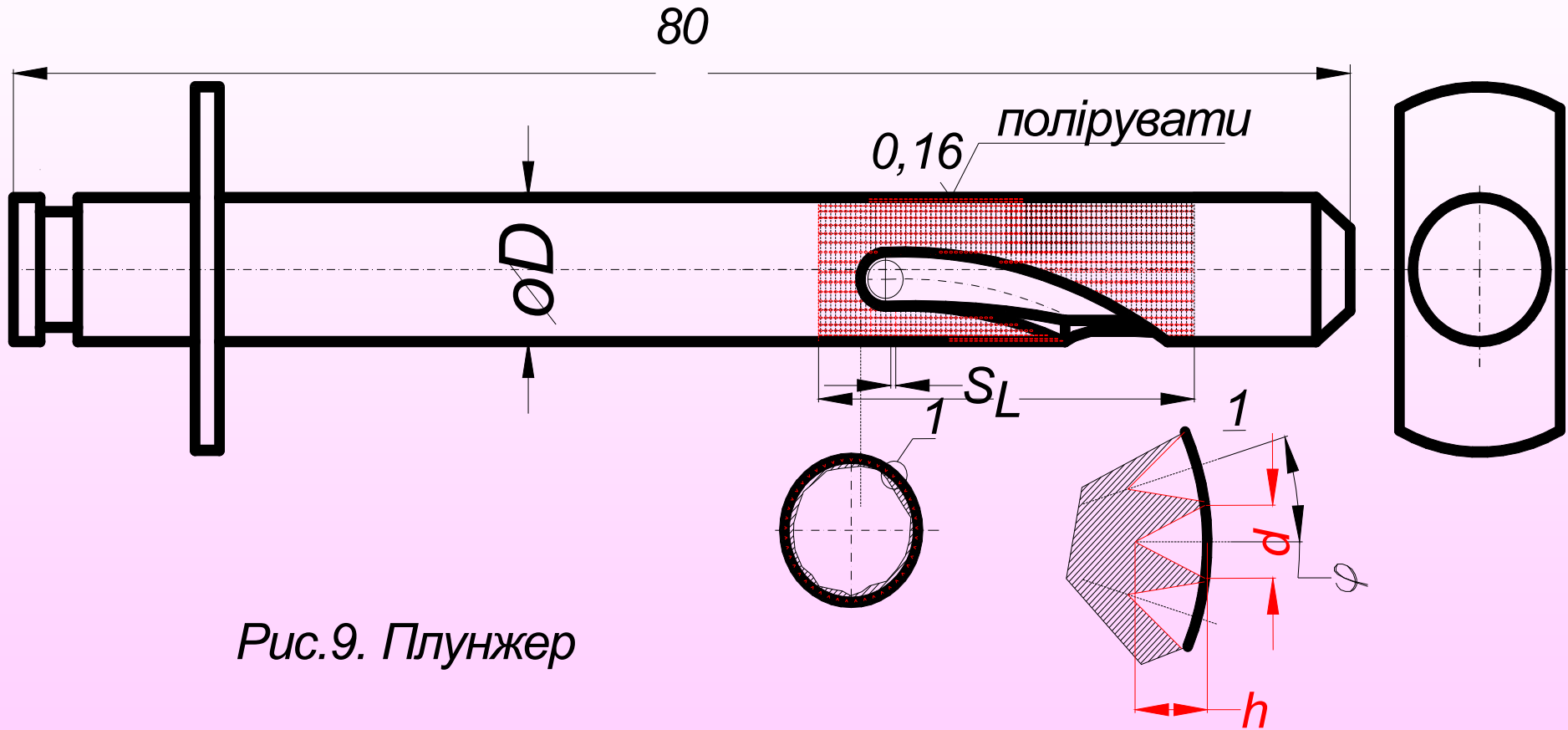


Рис.9. Плунжер

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Завдання №10

Спроекувати технологічну операцію обробки системи лунок (не наскрізних отворів) в заготовках бланків строгої звітності на прикладі бланку паспорту (рис. 10). (Технічні вимоги до отворів наведено в табл. (за варіантами).

Спроекувати ЛТУ для реалізації технологічної операції обробки системи лунок (не наскрізних отворів) в заготовках бланків строгої звітності на прикладі бланку паспорту.

Технічні вимоги до отворів наведено в таблиці (за варіантами).

Додаткові дані:

- матеріал сторінок бланка – папір, обкладинки – картон;
- вид руйнування матеріалу бланка – випаровування або випалення;
- передбачити формування лунок конічної форми із вершиною в межах тильної обкладинки бланка;
- за контуром отвору можливо формування підгорілого шару паперу сторінки;

А

- час обробки одного бланка не повинен перевищувати 3 секунди.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

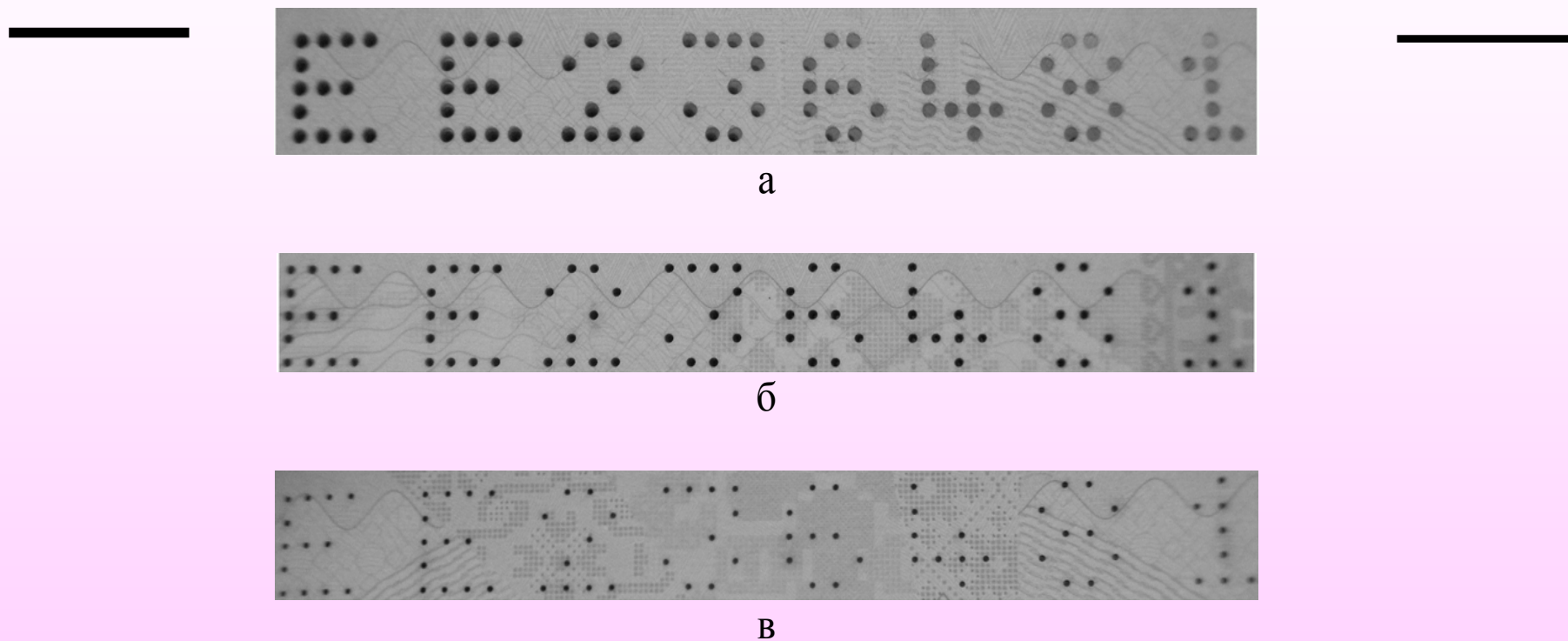


Рис.10. Схема перфорації захисного знаку на першій (а), шостій(б) сторінках паспорту та на його нижній обкладинці

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

Таблиця

Варіант	Бланк	Товщина загальна δ , мм	Товщина сторінки δ_1 , мм	Товщина обкладинки δ_2 , мм	Діаметр отвору d , мм	Конусо-подібність k , мм
1	Паспорт внутрішній	1,95	0,10 (15 стор.)	0,55	1,00	0
2	Паспорт закордонний	4,15	0,10 (36 стор.)	0,55	0,80*	0,80
3	Пенсійне посвідчення	2,00	0,10 (15 стор.)	0,50	0,80	0,40
4	Військовий квиток	4,55	0,10 (40 стор.)	0,55	0,80*	0
5	Посвідчення особи	2,55	0,10 (20)	0,55	0,80	0

*Примітка: Край отвору (лунки) має бути опаленим.

Тематика курсових проектів (додаток А до КМ) – (подовження)

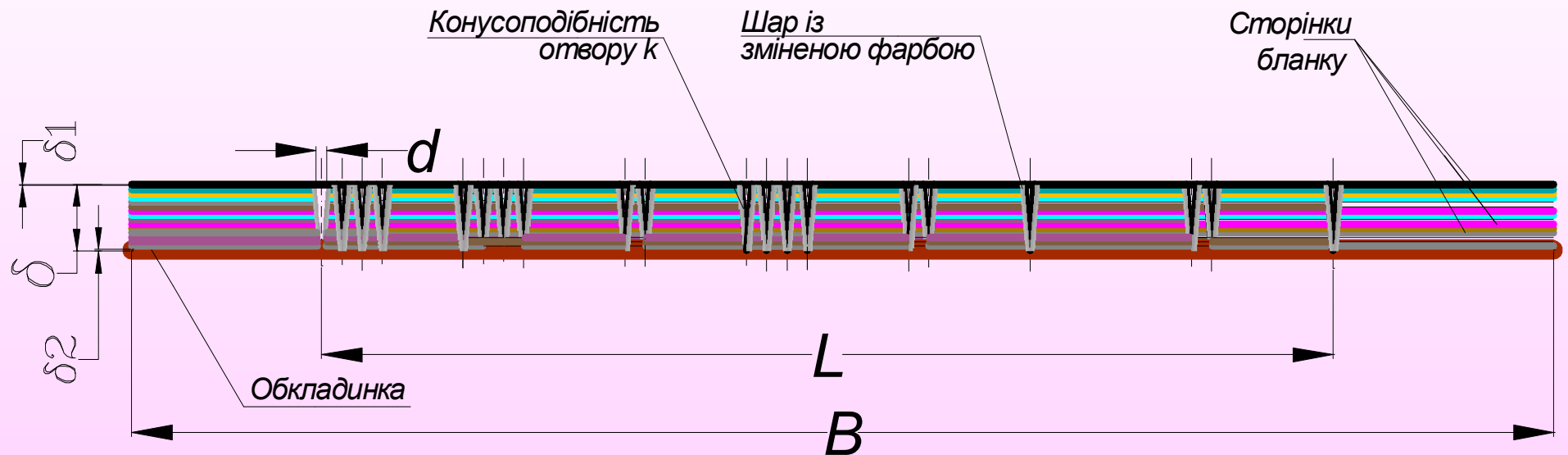


Рис.11. Переріз бланка за лінією А-А

Додаток Б до КМ дисципліни

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

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.

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

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.

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

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?

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

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 ефективності операцій 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 останнього? Які шляхи подальшого його вдосконалення?

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

Тема 3. Вдосконалення методів та технологічних схем ЛРО

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).

Тема 4. Прогнозне оцінювання якісних показників технологічної операції лазерної розмірної обробки

4.1. Аналіз складу сумарної погрішності ТО 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?

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО 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 перетворючої системи, яка повинна замінити Технологічну Систему, що Обробляє (ТСО).

Завдання 28

Які складови частини ТОС приймають участь у формуванні похибки обробки. Яким чином початкові нестабільності 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 якій 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 нестабільностей параметрів інструменту для найбільш пристосованого для розмірної обробки отвірив лазера на твердому тілі. Які зміни відбудуться у складі похибки за умов використання газових СО₂ лазерів? Підібрати розрахункові залежності для оцінки початкових нестабільностей, використовуючи рівняння посилення потужності електромагнітної хвилі у резонаторі, заповненому газовою сумішю.

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

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 коливання напруги накачки 20В 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. Розрахувати її величину для випадку нагріву матриці гранату до середньої температури $T = 550$ С з її коливанням у інтервалі $\Delta T = 50$ С.

Завдання 33

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

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

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 $5 \cdot 10^7$ Вт/см² 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 $\varnothing 6$ 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).

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

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?

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО

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?

Тематика завдань модульних контрольних робіт (додаток Б до КМ дисципліни)

4.3. Сумарна погрішність обробки порожнин лазерним променем

Завдання 41

Яким чином знаходяться коефіцієнти трансформації перетворюючої системи, яка заміняє ТСО 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? положення заготовки за багато кратним повторенням переходу.

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*

*Тематика завдань модульних контрольних робіт
(додаток Б до КМ дисципліни)*

4.3. Сумарна погрішність обробки порожнин лазерним променем

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?;
- багато кратним повторенням переходу.

Завдання на СРС

Завдання на СРС до розділу 1

1. 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.
2. Завдання на СРС 2: Чим відрізняються лазери з активною речовиною на іоні неодиму (Nd^{+3}) на базі *скляної та кристалевої матриці* за режимом випромінювання? Знайдіть пояснення цьому явищу, аналізуючи ізоляційні властивості матриць із різних за структурою діелектриків. Продовжити порівняння лазерів волоконних та дискових.
3. Завдання на СРС 3: Проаналізуйте *методи доопрацювання конструкцій* лазерів на кристалічних елементах з метою поліпшення їх технологічних здібностей.
4. Завдання на СРС 4: Які методи використовують для *формування імпульсного режиму генерації*? Які види модуляторів застосовуються для цієї ж мети?
5. Завдання на СРС 5: Розробити або вдосконалити *схеми механічних модуляторів добротності* резонатора лазера.
6. Завдання на СРС 6: На якому принципі побудовані *модулятори для керування тонкою часовою структурою імпульсу* випромінювання? Створіть свої пропозиції конструкцій (схем) модуляторів добротності.

Завдання на СРС до розділу 1

7. Завдання на СРС 7: 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
8. Завдання на СРС 8: Навести (виконати літературний огляд або створити) схеми або конструкції складових технологічного блоку ЛТУ. Для нових за визначенням керівника СРС та з його допомогою скласти необхідні документи для звернення в ІВ для оформлення авторського права.
9. Завдання на СРС 9: 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
10. Завдання на СРС 10: 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 ІВ для оформлення авторського права.
11. Завдання на СРС 11: Визначити бажану компоновку та склад ЛТУ з урахуванням новітніх за пошуком із доступних джерел лазерних систем, оптичних елементів та інших засобів впливу на якість технологічної операції. Запропонувати свої пропозиції з мотивів підвищення експлуатаційних можливостей ЛТУ.

Завдання на СРС до розділу 1

12. Завдання на СРС 12: 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?
13. Завдання на СРС 13: 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.
14. Завдання на СРС 14: Винайти матеріали за темою пневматичних систем контролю стану процесу чи працездатності засобу та оцінити їх переваги та недоліки вимірювальних схем. Оцінити їх застосовність для операцій ЛРО. Дати пропозиції схем їх організації.
15. Завдання на СРС 15: 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.
16. Завдання на СРС 16: Проаналізувати приклади оптимальної комплектації різних за призначенням ЛТУ. Дайте пропозиції до вдосконалення схем за комплектністю та за її реалізацією, використовуючи патентний пошук за сьома державами (США, Великобританія, Японія, РФ, Франція, Швейцарія, ФРН).

Завдання на СРС до розділу 2

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

Завдання на СРС до розділу 3

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.

Завдання на СРС до розділу 3

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 повздожньої форми отвору після ЛРО.
9. Завдання на СРС 9: Вивести розрахункові залежності для забезпечення операції односторонньої обробки з автоматичним зміненням умов опромінення в том числі для оцінки показників чутливості та якості повздожньої форми отвору після ЛРО.
10. Завдання на СРС 10: 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).
11. Завдання на СРС 11: 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).
12. Завдання на СРС 12: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу оперативного впливу на конфігурацію резонатора технологічного лазера з метою компенсації його часової деградації або планового змінення для варіативного керування режимом лазерної обробки протягом операції.

Завдання на СРС до розділу 3

13. Завдання на СРС 13: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу контурного вирізання порожнин з простим за формою поперечком (круглої, багатогранної форми, подовжнього пазу) у випадку недостатності енергетичних властивостей променя або із його надмірною потужністю (за вибором студента).
14. Завдання на СРС 14: 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
15. Завдання на СРС 15: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу формування порожнини методом трепанації за умови відсутності програмно керуємого відносного переміщення інструмента та заготовки.
16. Завдання на СРС 16: Розробити конструкцію пристрою (модулятора добротності резонатора) для керування часовою структурою імпульсу випромінювання із оптимальною скважністю пічків, яка виключає вихолодження матеріалу в порожнині під час перерви в їх подачі нижче температури його отвердіння (кристалізації) або запропонувати інший спосіб обробки з цією (за вибором студента).

Завдання на СРС до розділу 3

17. Завдання на СРС 17: 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).
18. Завдання на СРС 18: 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 обладнанню.
19. Завдання на СРС 19: 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 повздовжнім профілем оброблювальної порожнини.
20. Завдання на СРС 20: Розробити конструкцію пристрою для реалізації електролазерного методу формування отвору з можливістю оперативного (автоматизованого) змінення діелектричної прокладки та додаткового електроду.

Завдання на СРС до розділу 3

21. Завдання на СРС 21: Визначити або створити методику визначення режимів лазерного розкроювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням відомих рекомендацій.
22. Завдання на СРС 22: Визначити або створити методику визначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.
23. Завдання на СРС 23: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різь (пазу).
24. Завдання на СРС 24: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різь (по товщині заготівки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів.
25. Завдання на СРС 25: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.
26. Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електролазерної обробки кільцевих пазів.
27. Завдання на СРС 27: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.

Завдання на СРС до розділу 3

21. Завдання на СРС 21: Визначити або створити методику визначення режимів лазерного розкроювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням відомих рекомендацій.
22. Завдання на СРС 22: Визначити або створити методику визначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.
23. Завдання на СРС 23: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різу (пазу).
24. Завдання на СРС 24: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різу (по товщині заготівки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів.
25. Завдання на СРС 25: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.
26. Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електролазерної обробки кільцевих пазів.
27. Завдання на СРС 27: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.

Завдання на СРС до розділу 3

28. Завдання на СРС 28: Створити технологічне забезпечення операції формування розмірних пазів в заготовках із крихких матеріалів з виключенням їх розтріскування шляхом обмеження розтікання тепла із зони опромінення.
29. Завдання на СРС 29: 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.
30. Завдання на СРС 30: 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.
31. Завдання на СРС 31: 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)
32. Завдання на СРС 32: 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 до розділу 3

33. Завдання на СРС 33: 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.
34. Завдання на СРС 34: 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.
35. Завдання на СРС 35: 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.
36. Завдання на СРС 36: Розробити конструкцію різача для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (лінза із Ge) та використанням візуального методу налагодження положення заготовки в видимому промені додаткового лазера з його відбиттям від поверхні оптичного елемента.
37. Завдання на СРС 37: Розробити конструкцію різача для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (дзеркала або дзеркального об'єктиву) та використанням візуального методу налагодження положення заготовки в видимому промені додаткового лазера з його відбиттям від поверхні оптичного елемента.

Завдання на СРС до розділу 3

38. Завдання на СРС 38: Оцінити необхідну чуйність пневматичного датчику для його використання в системі контролю наскрізності оброблювального отвору, який зв'язує внутрішню порожнину заготовки з довкіллям.
39. Завдання на СРС 39: Зробити спробу використання якихось параметрів ерозійного факелу при ЛРО для контролю процесу діяння лазерного променя під час створення наскрізного отвору.
40. Завдання на СРС 40: 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.
41. Завдання на СРС 41: 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.
42. Завдання на СРС 42: 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 конструкцію вимірювальної камери у вигляді насадки на корпус об'єктиву (лінзи) оптичної системи СОК-1.

Завдання на СРС до розділу 3

43. Завдання на СРС 43: 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".
44. Завдання на СРС 44: 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.
45. Завдання на СРС 45: Розробити конструкцію датчика відносного позиціонування оптичного елемента ЛТУ та поверхні заготівки для початкового їх розташування з можливістю керування розмірним зміщенням за результатами виміру поточного розміру отвору під час обробки з адаптивною організацією ТО.
46. Завдання на СРС 46: Створити експрес методику визначення технологічного регламенту операції контурного вирізання порожнин в листових заготівках на базі системи контролю напрямку виходу робочого струменя технологічного газу із різку з тильної сторони заготівки двома пневматичними датчиками. Уточнити значення координат розташування пари пневматичних датчиків під заготівкою та її залежність від розмірних та теплофізичних параметрів заготівки та її матеріалу

Завдання на СРС до розділу 4

1. Завдання на СРС 1: Загально технологічне поняття точності обробки. Яку точність обслуговує технологія обробки. Перерахувати комплекс показників, за якими оцінюється загальна точність обробки. Навести приклади виробів з різними наборами показників точності. Порівняйте поняття точності та похибки обробки, за яким критерієм доцільніше досліджувати технологічний процес?

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 (ТСО).

Які складові частини ТСО 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?

Завдання на СРС до розділу 4

- Завдання на СРС 2: 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?
- Завдання на СРС 3: 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 4: 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.
- Завдання на СРС 5: Розрахуйте похибку імпульсної енергії випромінювання твердотільного лазера на гранаті, яку визиває коливання 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. Розрахуйте її величину для випадку нагріву матриці гранату до середньої температури $T = 550\text{С}$ з її коливанням у інтервалі $\Delta T = 50\text{С}$.

Завдання на СРС до розділу 4

6. Завдання на СРС 6: Проаналізуйте причини коливання загальної тривалості імпульсу випромінювання. Розрахуйте її чисельну характеристику для випромінювача на неодимовому склі, який працює з рівнем енергії $E = 2,5 \text{ Дж}$ (накачка до $U = 1675 \pm 10 \text{ В}$ на ємності 150 мкФ) та тривалості накачки $\tau = 1,0 \text{ мс}$, що визначає тривалість імпульсу $\tau = 300 \text{ мкс}$.
7. Завдання на СРС 7: 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?
8. Завдання на СРС 8: 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.
9. Завдання на СРС 9: 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 $0,01 \text{ мм}$ 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

Завдання на СРС до розділу 4

10. Завдання на СРС 10: Поясніть причини нестабільності кута розходження пучка випромінювання. Розрахуйте її числову характеристику для випромінювача на гранаті $\text{Ø}6\text{мм}$ та довжиною $l = 100\text{мм}$ з полу конфокальним резонатором ($L = 500\text{мм}$ та $R_{100\%} = 1000\text{мм}$), який збуджується накачкою потужністю $P_n = 2000 \pm 20\text{Вт}$ (поріг генерації $P_p = 500\text{Вт}$).
11. Завдання на СРС 11: 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.
12. Завдання на СРС 12: 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, докажіть, що вони є об'єктивними наслідками проявлення хвильової та корпускулярної теорії світла.
13. Завдання на СРС 13: Запропонуйте **методи підвищення якості настройки** за допомогою використання аналогових або автоматизованих схем. Які вимоги можна висунути до якості поверхонь заготовки щоб зменшити похибку настройки. Які похибки 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 до розділу 4

14. Завдання на СРС 14: 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?
15. Завдання на СРС 15: 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.
16. Завдання на СРС 16: 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?
17. Завдання на СРС 17: Чи значуще впливають коливання рівня поглинання променистої енергії поверхнею заготовки на результати прошивки отворів? Запропонуйте ефективні методи стабілізації оптичних властивостей поверхні.

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

Завдання на СРС до розділу 4

18. Завдання на СРС 18: Яким чином знаходяться коефіцієнти трансформації перетворюючої системи, яка заміняє ТСО під час аналізу точності обробки? Докажіть, що аналітичні методи більш доцільні для цього.

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

19. Завдання на СРС 19: 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 $\delta = 2+0,15\text{мм}$;
- отвір – $\text{Ø}0,25\pm 0,01\text{мм}$

режими обробки розраховуються за схемою №2 Steffen'а.

20. Завдання на СРС 20: Визначити шляхи впливу на сумарну похибку на основі аналізу її кількісної структури:

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

Бібліографічний опис

Бібліографічний опис до розділу 1

1. Котляров В.П. Технология лазерной обработки (операции размерной обработки). Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308с.
2. Углов А.А., Орехов М.В., Кокора А.И Увеличение эффективности размерной обработки излучением ОКГ // ФХОМ – 1976, №4
3. Басов Н.Б., Зуев Р.Е., П.Г.Крюков. Увеличение мощности импульсного оптического квантового генератора на рубине модуляцией добротности резонатора // ЖЭТФ – 1962, т. 43, в 1(7). - С. 353-355
4. Котляров В.П. Технологічне оснащення лазерних комплексів. Підручник. Електронне видання. Київ: НТУУ «КПІ», - 2013. – 592с.
5. Патент 3.619.032 США, G02F 350/161, оп. 09.11.1971р.
6. А.с. 1610707 СРСР, МКІЗ В23К 26/00. Лазерный излучатель для технологических установок [Текст] / В. П. Котляров, И. И. Штома (СРСР). – № 4683135/31–27 ; заявл. 24.04.89 ; (без публ.)
7. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, - 1984. - 395с.
8. Котляров В.П. Технологічне оснащення лазерних комплексів. Підручник. Електронне видання. Київ: НТУУ «КПІ», - 2013. – 592с.
9. Коваленко В.С., Романенко В.В., Олещук Л.М. Малоотходные процессы резки лучом лазера. Киев: Техніка, - 1987. -142с.
10. Крейг Д. Роуз Рубиновый лазер для точного сверления отверстий. – Электроника, 1985, №14, С.80-81
11. А.с. 965921 СРСР, МКІЗ Н 01 S 3/08. Лазер [Текст] / В. П. Котляров, В. В. Романенко, В. С. Коваленко (СРСР). – № 3268240/18–25 ; заявл. 31.03.1981 ; (без публ.).

Бібліографічний опис до розділу 1

12. Петров М. Лазерная обработка материалов в электронике. Сб.: *Компоненты и технологии*, 19.10.2000.10.19
13. А.с. СССР № 965677 МКІ³ В23К 26/08. Установка для пробивки отверстий [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко (СРСР). - 3266926/25-27, заявл. 31.03. 81 ; оп. 15.06.1982р.
14. А.с. СРСР № 1178822 МКІ³ В23К 26/00. Установка для пробивки отверстий [Текст] / В.П. Котляров, Ю.В. Коноваленко, В.С. Коваленко (СРСР). - 3726092 /25-27, заявл. 13.04.1984 ; (без публ.)
15. А.с. N1202176 МКІ³ В23К 26/00. Способ газолазерной резки горючих материалов [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, В.В.Романенко (СРСР). – 3773544/ 25-27 , заявл. 20.06.1984 ; (без публ.)
16. А.с. 1610707 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Лазерный излучатель для технологических установок [Текст] / В. П. Котляров, И. И. Штома (СРСР). – № 4683135/31–27 ; заявл. 24.04.1989 ; (без публ.)
17. А.с. 792732 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Пристрій для обробки отвору випромінюванням лазера [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко (СРСР). – № 2713994/25–27 ; заявл. 17.01.79 ; (без публ.).
18. А.с. 1757347 СРСР, МКІ³ В23К 27/00. Об'єктив – сканер [Текст] / В.П. Котляров, В.П. Царук (СРСР). - №4829301/25-27 ; заявл. 20.03.1990 ; (без публ.)
19. А.с. 1262839 СРСР, МКІ³ В26К 26/00. Установка для лазерной обработки [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, М.І.Анякін (СРСР), №3858960/25-27; заявл. 21.02.1985 ; (без публ.)
20. Котляров В.П., Коваленко В.С., Анякин Н.И. ОКГ для лазерных технологических установок // Сб. Электрохим. и электрофиз. методы обр-ки материалов, Тула: ТПИ – 1985. - С. 31-35

Бібліографічний опис до розділу 1

21. А.с. N1609004 СРСР, МКІ³ В23К 26/00. Устройство для лазерной обработки [Текст] / В.П. Котляров, Ю.И. Симонов (СРСР), заявл. 22.07.1990 ; (без публ.)
22. А.с. 1771909 СРСР, МКІ3 В26К 26/00. Газолазерна установка для контурного різання [Текст] / В.П.Котляров, В.П.Царук (СРСР), №4904354/25-27; заявл. 22.01.1991р. ; опубл. 1992 , Бюл. №40. – 3 с. : іл.
23. Позитивне рішення по заявці №4829301/10 (СРСР) Лазерна технологічна установка з автоматичним фокусуванням об'єктиву.
В.П.Котляров, В.С.Коваленко (СРСР)
24. Котляров В. П. Лазерна технологія в поліграфії. В.П. Котляров, П.О.Киричок - Київ : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка». – 2012. – 324 с. : іл. ; 20 см. – Бібліогр.: с. 317-323. – Пред. показ.: с. 312–316. – 500 екз. – ISBN 978-966-622-494-4
25. А.с. 574895 СРСР, МКІ3 В23К 26/00. Об'єктив [Текст] / В. С. Коваленко, В. П. Дятел, Ю. В. Кобилянський (СРСР). – № 2630221/25–27 ; заявл. 19.06.78 ; (без публ.).
26. Патент 74620 Україна, МКІ3 В23К 26/00. Пристрій для зміни фокусної відстані [Текст] / В.П. Котляров, М.Ю. Варивода - № u 2012 02962 ; заявл. 13.03.2012 ; опубл. 12.11.2012, бюл. №21. 3 с. : іл.
27. А.с. 1262839 СРСР, МКІ3 В26К 26/00. Установка для лазерної обробки [Текст] / В.П.Котляров, В.С.Коваленко, М.І.Анякін (СРСР), №3858960/25-27; заявл. 21.02.1985р., (без публ.)
28. А.с. 792732 СРСР, МКІ3 В23К 26/00. Пристрій для обробки отвору випромінюванням лазера [Текст] / В. П. Котляров, В. С. Коваленко (СРСР). – № 2713994/25–27 ; заявл. 17.01.79 ; (без публ.).
29. Патент України № 86593 В23К 26/08/. Сканер пучка лазерного випромінювання. [Текст] / В.П. Котляров, О.І Рибкін - № u 2013 06330 ; заявл. 22.05.2013 ; опубл. 10.01.2014, бюл. №1. 3 с. : іл

Бібліографічний опис до розділу 1

30. Котляров В.П., Коваленко В.С., Анякин Н.И. ОКГ для лазерных технологических установок // Сб. Электрохим. и электрофиз. методы обр-ки материалов, Тула: ТПИ – 1985. - С. 31-35
31. А.с. 1771909 СРСР, МКІЗ В26К 26/00. Газолазерна установка для контурного різання [Текст] / В.П.Котляров, В.П.Царук (СРСР), №4904354/25-27; заявл. 22.01.1991р. ; опубл. 1992 , Бюл. №40. – 3 с. : іл.
32. Заявка Японії № 59-4509, В23К 26/02, оп. 13.03.1984р.

Бібліографічний опис до розділу 2

33. Водоватов Ф. Ф. Лазеры в технологии [Текст] / Ф. Ф. Водоватов, А. А. Чельный, В. П. Вейко. – М. : Энергия, 1975. – 216с. ил. : 20 см. – 9 000 экз.
34. Вейко В. П. Лазерная микрообработка [Текст] : конспект лекций по курсу «Физико-технические основы лазерных технологий» / В. П. Вейко. –СПб. : ГУ ИТМО, 2007. – 111 с. ил. ; 20 см. – 200 экз
35. Laser processing head ВАК 4. – Catalogue Lasag – the company brochure [Текст] / (www//lasers@lasag.ch), 2008. – 4р. : ил.
36. Душинский В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении [Текст] / В. В. Душинский, Е. С. Пуховский, С. Г. Радченко. – Киев : Техніка, 1977. – 176 с. : ил. ; 20 см. – 2500 экз.
37. Технологические лазеры. / Справочник в 2-х томах под ред. А.Г.Абильситова. -М: Машиностроение, 1991 г

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. Спосіб лазерної технологической обробки матеріалів [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 фокусуєчого 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. Котлярів, 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. Котлярів, 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 виробах [Текст] / В.П. Котляров, А.Аліверді, І.Вахдатінія - № и 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 № u 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 № u 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 № u 2013 11006 - 16.09.2013, оп.25.03.2014, б.№ 6
117. А.с. 1455510 СРСР МКІ³ В23К 26/00. Установка 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.)

Бібліографічний опис до розділу 4

123. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерное прилжение. – М: Наука, 1988. – 480с.
124. Котляров В.П., Коваленко И.С., Анякин Н.И. ОКГ для лазерных технологических установок. – Сб.: Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. – Тула: ТПИ, 1985, С. 31-35
125. Вакс Е.Д., Соколов Б.М. Станки для лазерной обработки. – Станки и инструмент, 1977, №9, С. 35-37
126. Коваленко В.С., Котляров В.П., Дюмин В.В. Анализ погрешности при лазерной обработке материалов. – Технология и автоматизация маш-ния, 1976, №17, С. 18-21
127. Методы повышения точности лазерной размерной обработки /М.Н.Либенсон, Г.Н.Суслов, А.Н.Кокора и др. – Л: Знание, 1973, - 40с.
128. Действие излучения большой мощности на металлы / С.И.Анисимов, Я.А.Имас, Г.С.Романов и др. – М: Наука, 1972. – 272с.
129. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов Н.Н.Рыкалин, А.А.Углов, И.В.Зуев и др. – М: Машиностроение, 1985, 496с.
130. Беломестов П.И. Перестраиваемый резонатор с зеркалом переменной кривизны. – Квантовая электроника, 1973, №4(16), С.110-113
131. Бреховских В.Ф., Рыкалин Н.Н., Углов А.А. О возможности влияния содержания газов в металлах на зону воздействия луча лазера. – ДАН СССР, 1979, т.190, №5, С.1059-1062
132. Применение лазерной технологии при выполнении отверстий в деталях топливной аппаратуры / В.С. Коваленко, В.П. Котляров ВП., А.И. Бычков и др. – Технология и организация производства, 1973, №9, С.34-36
133. Коваленко В.С., Котляров В.П., Снегс В.Л. Лазерная размерная обработка в дизелестроении. – Труды ЦНИИДИ, 1979, с.144-155.