

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«Київський політехнічний інститут»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З ДИСЦИПЛІНИ “ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ”**

«Вимірювання енергетичних параметрів»

Для студентів напрямку підготовки 6.050502 “Інженерна механіка”

Гриф НТУУ «КПІ» наданий рішенням Методичної ради Університету
протокол № 03 від 24 листопада 2011 р.

Київ 2011

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Лазерне технологічне обладнання» «Вимірювання енергетичних параметрів» для студентів напряму підготовки 6.050502 “Інженерна механіка” /Уклад.: Олещук Л.М., Красавін О.П.

Укладачі: Олещук Леонід Маркович,
Красавін Олександр Петрович,

Відповідальний редактор Кривцун Ігор Віталійович, д.т.н., проф.

Рецензенти: Анякін М.І., д.т.н. заст. директора НДІ «Лазерної техніки та технології» НТУУ «КПІ»

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторні роботи потрібно розглядати як одну із форм вивчення дисципліни «Лазерне технологічне обладнання», тому їх слід виконувати після засвоєння теоретичного матеріалу відповідного розділу. Потрібно також дотримуватись наступної послідовності дій та вимог щодо виконання та оформлення лабораторної роботи.

- Усвідомити мету і завдання до виконання лабораторної роботи, призначення елементів досліджуваної схеми та навчитись користуватись потрібними для виконання роботи контрольно-вимірювальними приладами.

- Оформлення пояснювальної записки до лабораторної роботи виконати на окремих аркушах формату А4 із зазначеними на титульній сторінці найменування університету, кафедри, учбової групи, а також прізвища і ініціалів виконавця та керівника роботи.

- В разі виконання розрахунків супроводжувати їх текстом, тобто коментувати суть дій та одержаних результатів.

- Позначення та одиниці виміру фізичних величин повинні відповідати ДСТУ.

- В разі виконання креслень вузлів устаткування, дотримуватись вимог ДСТУ.

В кінці пояснювальної записки поставити дату виконання роботи і особистий підпис.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота № 1

Вимірювання енергії імпульсів випромінювання твердотільного лазера

Мета роботи: вивчити склад, конструктивні особливості та принцип дії теплового засобу вимірювання енергії імпульсів лазерного випромінювання; ознайомитися з технічними характеристиками та технічним обслуговуванням вимірювача; ознайомитися з методикою і придбати практичні навички вимірювання енергії імпульсів випромінювання твердотільного лазера; навчитися обробляти результати вимірювання.

Прилади і обладнання: твердотільний імпульсний лазер, допоміжний газовий лазер, оптична лави, вимірювач енергії та середньої потужності лазерного випромінювання ІМ0-2Н.

1. Призначення, будова й принцип дії вимірювача енергії та середньої потужності лазерного випромінювання.

Вимірювач середньої потужності та енергії лазерного випромінювання ІМ0-2Н призначено для вимірювання середньої потужності випромінювання безперервних і імпульсних лазерів з частотою повторювання, яка перевищує 5 Гц за максимальної густини потужності не більш 3 Вт/см^2 та енергії випромінювання поодиноких імпульсів лазерів в режимі вільної генерації за тривалістю імпульсів не менш 0,1 мс та максимальній густині потужності не більш 20 Дж/см^2 . Вимірювач використовується за таких параметрів лазерного випромінювання: середня потужність $3 \cdot 10^{-4} \dots 100 \text{ Вт}$, енергія $3 \cdot 10^{-3} \dots 10 \text{ Дж}$, діаметр пучка 4...12 мм, діапазон довжин хвиль 0,69...10,6 мкм та найбільший кут падіння 2 градуси.

Випромінювач складається з блоку первинного перетворювача (вимірювальна головка), блока реєстрації механізму юстирування та ослаблювача потужності. Вимірювальна головка з механізмом юстирування може встановлюватися на оптичній лаві чи на столі. Блок реєстрації виготовлено у вигляді настільного переносного приладу. Для полегшення юстирування приладу при вимірюванні середньої потужності передбачено візир, який встановлюється на вході вимірювальної головки. Дісковий ослаблювач потужності використовується тільки для вимірювання середньої потужності лазерного випромінювання від 1 до 100 Вт.

Величина коефіцієнту ослаблення потужності пучка лазерного випромінювання визначається кількістю секторних вікон та кутом сектора.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Принцип дії приладу ІМ0-2Н полягає в поглинанні приймальним елементом енергії лазерного випромінювання, перетворенні її в еквівалентну теплову та у вимірюванні блоком реєстрації вихідного сигналу (термоелектричного струму), пропорційного значенню теплового потоку термоелектричної батареї. Процес вимірювання енергії полягає у відліку максимального показання реєструючого приладу за умов подання на вхід вимірювальної головки імпульсу лазерного випромінювання. Для вимірювання потужності проводять відлік усталеного показання реєструючого приладу за умов подання на вхід вимірювальної головки безперервного лазерного випромінювання. У режимі калібрування вимірюється термоелектричний струм, пропорційний енергії, яка виділяється у нагрівачі від дії струму калібровки.

2. Технічна характеристика вимірювача

1. Довжина хвилі, на якій атестовано прилад, мкм	0,633; 1,06; 10,6
2. Діапазон вимірювання:	
- середньої потужності безпосередньо приладом, Вт	0,001; 0,003; 0,01 0,03; 0,1; 0,3; 1
- середньої потужності з використанням ослаблювача на тих саме діапазонах, Вт	3; 10; 30; 100
- енергії, Дж	0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10
3. Межа основної похибки за умов вимірювання	
- енергії, %	7
- потужності, %	5
4. Апертура головки вимірювальної, мм	14
5. Мінімальний інтервал часу між вимірюваннями	
- енергії, хв.	3
- потужності, хв.	5
6. Часова межа установлення робочого режиму, хв.	30
7. Час безперервної роботи, годин	8
8. Живлення від мережі змінного струму	
- напруга, В	220±22
- частота, Гц	50±1
9. Потужність, яку споживає прилад, Вт	40

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

10. Маса приладу, кг	20
11. Габаритні розміри	
- головки вимірювальної з механізмом юстирування, мм	140x184x315
- блоку реєстрації, мм	445x320x140
- ослаблювача потужності, мм	170x210x294
12. Напрацювання до відмови, годин	1000

3. Технічне обслуговування вимірювача

Технічне обслуговування вимірювача полягає у дотриманні правил експлуатації, зберігання і транспортування, в усуненні дрібних ушкоджень та періодичній повірці приладу.

Вимірювач зберігається без упакування при температурі навколишнього повітря від 10 °С до 35 °С та відносній вологості не більш 80% при температурі 25 °С. У приміщенні не повинно бути пилу, парів кислоти і лугу, агресивного газу та інших шкідливих домішок, які спричиняють корозію.

Значення кліматичного і механічного діяння на прилад при транспортуванні повинно бути у таких умовах: температура навколишнього повітря від -60 °С до +50 °С, відносна вологість 95% при 25 °С, амплітуда прискорення імпульсу 30 м/с², тривалість імпульсу (16±2) мс та кількість ударів 4000±10.

Періодична повірка вимірювача проводиться один раз за рік.

4. Порядок виконання роботи

4.1. Ознайомитися з методичними вказівками до даної роботи.

4.2. Ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії вимірювача енергії й середньої потужності лазерного випромінювання, з його технічними характеристиками та технічним обслуговуванням.

4.3. Підготувати вимірювач до роботи.

4.4. Включити вимірювач.

4.5. Включити твердотільний технологічний лазер.

4.6. Виміряти енергію випромінювання твердотільного лазера для різних значень напруги накачування.

4.7. Відключити твердотільний технологічний лазер.

4.8. Виключити вимірювач.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

4.9. Обробити результати вимірювання енергії випромінювання твердотілого технологічного лазера.

5. Методика виконання роботи

5.1. Оглянути вимірювач, визначити місця розташування органів керування і контролю на передній та задній панелях блоку реєстрації. Накреслити схеми передньої та задньої панелей блоку реєстрації, вказати місця розташування органів керування та контролю.

5.2. Вимірювальну головку з механізмом юстирування встановити на оптичній лаві, блок реєстрації- на столі. Приєднати вимірювальну головку до блоку реєстрації і заземлити останній за допомогою клеми земляної. Поставити вимикач мережі у нижнє положення, перемикач виду робіт- у положення «Аретир».

5.3. Включити штепсельну вилку приладу у мережу, вимикач мережі поставити у верхнє положення (при цьому повинна засвітитися лампа сигналізації). Зняти кришку з вікна вимірювальної головки.

5.4. Провести юстирування вимірювача за допомогою газового лазера: осі пучка допоміжного і твердотілого лазерів, а також візира та вікна вимірювальної головки повинні збігтися. Під час юстирування та вимірювання не можна допускати, щоб відблиски від вимірювальної головки потрапляли у очі оператора.

5.5. Прогріти прилад протягом 30 хвилин та провести калібрування у режимі вимірювання енергії випромінювання. Під час калібрування поставити перемикач виду робіт у положення «Енергія», перемикач межі вимірювання у режим вимірювання 0,1 Дж. Виставити нуль реєструючого приладу ручкою «Установка 0» на передній панелі блоку реєстрації. Якщо регулювання нуля не досягнуто, необхідно домогтися його установки ручкою на задній панелі. Перевести перемикач робіт у режим калібрування. За 5 хвилин на реєструючому приладі повинно встановитися $100 \pm 0,5$ поділки.

5.6. Підготувати твердотільний лазер до роботи: включити лазер та обрати режим поодиноких імпульсів випромінювання, прогріти протягом 10 хвилин, встановити обраний рівень напруги на його шкалі. Запуск лазера може бути здійснено від кнопки на панелі приладу або від педалі.

5.7. Перемикачами виду робіт та межі вимірювання приладу встановити необхідний режим. Запустити твердотільний лазер, подати на вимірювальну головку пучок лазерного випромінювання та зробити відлік максимальних показань реєструючого приладу. Послідовно виміряти енергію випромінювання при різних

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

рівнях напруги накачування: 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 В. Для кожного рівня напруги вимірювання енергії повторити по 5 разів.

5.8. Під час роботи з вимірювачем необхідно проводити калібрування через кожну годину його роботи.

5.9. Для відключення вимірювача необхідно: перемикач режиму роботи та межі установити у положення «Аретир» та «10 Дж», вимикач мережі блоку реєстрації встановити у нижнє положення, відключити прилад від мережі та закрити кришкою вікно вимірювальної головки.

5.10. Відключити твердотільний лазер.

6. Обробка результатів вимірювання

6.1. При статистичній обробці результатів спостереження виконують наступні операції: обчислюють середній квадратичний відхіл результату вимірювання та надійні межі похибки результату вимірювання, записують результат вимірювання.

6.2. За результат вимірювання приймають середнє арифметичне значень результатів спостережень. Середній квадратичний відхіл результатів вимірювання оцінюється за формулою:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{(\sum(x_i - \tilde{A})^2)/(n(n-1))}$$

де: \tilde{A} - результат вимірювання,

x_i - і-й результат спостереження,

n- кількість результатів спостереження,

$S(\tilde{A})$ - оцінка середнього квадратичного відхілу результату вимірювання.

6.3. Надійні межі (без урахування знаку) похибки результату вимірювання знаходять за формулою:

$$\Delta = t S(\tilde{A})$$

де: t- коефіцієнт Стюдента.

Для надійної ймовірності $P= 0,95$ та кількість результатів вимірювання $n=5$ коефіцієнт Стюдента $t= 2,776$.

6.4. Результат вимірювання записують у формі:

$$\tilde{A} \pm \Delta, P.$$

6.5. Результати спостережень та вимірювання, оцінку середнього квадратичного відхилу результатів вимірювання, надійні межі похибки результату вимірювання, записи результату вимірювання для кожного рівня напруги накачування занести у таблицю 1.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Таблиця 1.

Напруга накач. В	Результати спостережень Дж					Результати вимірювання Дж	$S(\tilde{A})$	Δ	$\tilde{A} \pm \Delta, P$
1200									
1400									
1600									
1800									
2000									

6.6. Побудувати графік залежності енергії випромінювання лазера від напруги накачування.

6.7. Порівняти похибки результату вимірювання енергії випромінювання з похибкою приладу за його технічною характеристикою.

6.8. Зробити висновки по роботі.

7. Контрольні запитання

7.1. Навіщо призначено та за яких параметрів використовується вимірювач енергії лазерного випромінювання ІМО-2Н?

7.2. З яких блоків складається вимірювач енергії лазерного випромінювання?

7.3. Будова вимірювальної головки та блоку реєстрації.

7.4. У чому полягає принцип дії вимірювача енергії лазерного випромінювання ІМО-2Н?

7.5. Назвіть технічні параметри вимірювача енергії лазерного випромінювання ІМО-2Н.

7.6. Як провести технічне обслуговування вимірювача енергії лазерного випромінювання?

7.7. Як провести калібрування приладу ІМО-2Н у режимі вимірювання енергії лазерного випромінювання?

7.8. Як провести вимірювання енергії лазерного випромінювання?

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота № 2

Вимірювання потужності випромінювання твердотілого лазера

Мета роботи: вивчити склад, конструктивні особливості та принцип дії теплового засобу вимірювання середньої потужності безперервного лазерного випромінювання; ознайомитися з технічними характеристиками та технічним обслуговуванням вимірювача; ознайомитися з методикою і придбати практичні навички вимірювання потужності випромінювання безперервного твердотілого лазера; навчитися обробляти результати вимірювання.

Прилади та обладнання: твердотілий безперервний лазер, допоміжний газовий лазер, оптична лавка, вимірювач енергії та середньої потужності лазерного випромінювання ІМ0-2Н.

1. Порядок проведення роботи

- 1.1. Ознайомитися з методичними вказівками до даної роботи.
- 1.2. Ознайомитися з призначенням, будовою та принципом дії вимірювача енергії й середньої потужності лазерного випромінювання, з його технічними характеристиками та технічним обслуговуванням (лабораторна робота № 4 пп: 1.1., 1.2., 1.3.).
- 1.3. Підготувати вимірювач до роботи.
- 1.4. Включити вимірювач.
- 1.5. Включити твердотілий технологічний лазер.
- 1.6. Виміряти середню потужність випромінювання твердотілого лазера для різних значень струму розряду.
- 1.7. Відключити твердотілий технологічний лазер.
- 1.8. Виключити вимірювач.
- 1.9. Обробити результати вимірювання середньої потужності випромінювання твердотілого технологічного лазера.

2. Методика виконання роботи

2.1. Головку вимірювальну з механізмом юстирування встановити на оптичній лаві, блок реєстрації - на столі. Приєднати головку вимірювальну до блоку реєстрації та заземлити останній за допомогою клеми земляної. Поставити вимикач мережі у нижнє положення, перемикач виду робіт- у положення "Аретир".

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

2.2. Включити штепсельну вилку приладу у мережу, вимикач мережі поставити у верхнє положення (при цьому повинна засвітитися лампа сигналізації). Зняти кришку з вікна головки вимірювальної.

2.3. Провести юстирування вимірювача за допомогою газового лазера: осі пучка допоміжного газового і твердотільного лазерів, а також візира та вікна головки вимірювальної повинні збігтися. Під час юстирування та вимірювання не можна допускати, щоб відблиски від головки вимірювальної потрапляли у очі оператора.

2.4. Прогріти прилад протягом 30 хвилин та провести калібрування у режимі вимірювання потужності випромінювання. Під час калібрування поставити перемикач виду робіт у положення "Потужність", а перемикач межі вимірювання - у режим вимірювання 0,01 Вт. Виставити нуль реєструючого приладу ручкою установки нуля на передній панелі блоку реєстрації. Якщо регулювання нуля не досягнуто, необхідно домогтися його установки ручкою на задній панелі. Перевести перемикач виду робіт у режим калібрування - за 5 хвилин на реєструючому приладі повинно встановитися $100 \pm 0,5$ поділки.

2.5. Встановити ослаблювач потужності з відповідним диском на оптичній лаві перед вхідним вікном головки вимірювальної так, щоб вісь пучка лазерного випромінювання проходила поблизу від середньої лінії секторних вирізів диску. Не можна пересувати ослаблювач потужності під час роботи електродвигуна.

2.6. Підготувати твердотільний лазер до роботи: включити лазер, прогріти протягом 10 хвилин, встановити вибраний рівень струму розряду на його шкалі. Запуск лазера може бути здійснений від кнопки на панелі приладу.

2.7. Перемикачами виду робіт та межі вимірювання приладу встановити необхідний режим. Включити електродвигун дискового ослаблювача. Запустити твердотільний лазер, подати на головку вимірювальну пучок лазерного випромінювання та зробити відлік усталених показань реєструючого приладу. Послідовно виміряти потужність випромінювання при різних рівнях струму розряду: 14, 18, 22, 26, 30 А.

Для кожного рівня струму розряду вимірювання середньої потужності повторити по 5 разів. Показання реєструючого приладу помножити на величину коефіцієнта ослаблення диску.

2.8. Під час роботи з вимірювачем необхідно проводити калібрування через кожну годину його роботи.

2.9. Відключити твердотільний лазер.

2.10. Відключити електродвигун дискового ослаблювача.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

2.11. Для відключення вимірювача необхідно: перемикачі режиму роботи та межі вимірювання установити у положення "Аретир" і "0,01 Вт", вимикач мережі блоку реєстрації установити у нижнє положення, відключити прилад від мережі та закрити кришкою вікно головки вимірювальної.

3. Обробка результатів вимірювання

3.1. Обчислити середній квадратичний відхил результатів вимірювання та надійні межі похибки результату вимірювання, записати результат вимірювання за формулами, які приведені у лабораторній роботі № 4 (6.2; 6.3; 6.4).

3.2. Результати спостережень та вимірювання, оцінку середнього квадратичного відхилення результатів вимірювання, надійні межі похибки результату вимірювання, записи результату вимірювання для кожного рівня струму розряду занести у таблицю 1.

Таблиця 1.

Струм розряду А	Результати спостережень Вт	Результати вимірювання Вт	$S(\tilde{A})$	Δ	$\tilde{A} \pm \Delta, P$
14					
18					
22					
26					
30					

3.3. Побудувати графік залежності середньої потужності випромінювання лазера від струму розряду.

3.4. Порівняти похибки результату вимірювання середньої потужності випромінювання з похибкою приладу за його технічною характеристикою.

3.5. Зробити висновки по роботі.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

4. Контрольні запитання

- 4.1. Навіщо призначено та за яких параметрів використовується вимірювач середньої потужності лазерного випромінювання ІМО-2Н?
- 4.2. З яких блоків складається вимірювач середньої потужності лазерного випромінювання?
- 4.3. Будова вимірювальної головки та блоку реєстрації.
- 4.4. У чому полягає принцип дії вимірювача середньої потужності лазерного випромінювання ІМО-2Н?
- 4.5. Назвіть технічні параметри вимірювача середньої потужності лазерного випромінювання ІМО-2Н.
- 4.6. Як провести технічне обслуговування вимірювача середньої потужності лазерного випромінювання?
- 4.7. Як провести калібрування приладу ІМО-2Н у режимі вимірювання середньої потужності лазерного випромінювання?
- 4.8. Як провести вимірювання середньої потужності лазерного випромінювання?
- 4.9. Як записати результат вимірювання середньої потужності лазерного випромінювання?
- 4.10. Назвіть значення кліматичного та механічного діяння на вимірювач при транспортуванні.
- 4.11. Як провести юстирування вимірювача?
- 4.12. Навіщо та як використовується ослаблювач потужності?
- 4.13. Які операції виконують під час статистичної обробки результатів спостереження?

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна робота № 3

Пристрій фокусування лазерного технологічного обладнання

Мета роботи: вивчити склад і конструктивні особливості пристрою фокусування лазерних установок на твердому тілі; придбати практичні навички юстирування пристрою фокусування.

Устаткування і його елементи: пристрій фокусування твердотілого технологічного лазера, допоміжний газорозрядний He-Ne лазер, набір діафрагм, столи координатні.

1. Загальні положення

Функції системи транспортування і формування випромінювання полягає в перетворенні пучка лазерного випромінювання, що вийшло з лазера в сформований пучок або в пучок спеціальної форми.

Система транспортування складається з пристроїв повороту і переключення напрямку лазерного променя, зміна кривизни хвильового фронту, поляризація лазерного випромінювання, блоків корекції і контролю положення лучачи, датчиків потужності випромінювання, оптичних затворів, розщеплювачів пучка, проміневодів.

Система формування складається з пристроїв фокусування, що відрізняються фокусною відстанню, робочою діаметром пучка, можливістю керування положенням фокальної площини в просторі, скануванням пучка по поверхні обробки і перетворення форми пучка. Вона повинна мати блокування, що виключають випромінювання лазера або зупиняють переміщення столу лазерного технологічного устаткування з появою неприпустимих механічних і теплових перевантажень. У систему формування входять пристрої охолодження оптичних елементів, пристрої захисту оптичних елементів від продуктів лазерної ерозії, що йдуть від оброблюваного матеріалу.

Для подачі випромінювання в зону обробки використовуються різні способи перетворення лазерного пучка за допомогою оптичних і оптико-механічних систем. Ці способи можна умовно розділити на дві групи: з постійною і змінною довжиною оптичного тракту від випромінювача до зони обробки. У системі транспортування лазерного пучка застосовуються телескопічна система, двохкомпонентна оптична система, поворотні дзеркала, заслінки, оптичні затвори, шарнірні проміневоди, волоконні світловоди.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

В пристроях фокусування твердотільного лазерного технологічного устаткування використовуються поворотні дзеркала з багатошаровими діелектричними покриттями. При виготовленні дзеркал на підкладки по черзі наносять шари матеріалу, що чергуються, з високим і низьким коефіцієнтом переломлення. Як підкладку використовують скло. Діелектричні дзеркала виготовляються методами термічного випару у вакуумі і катодного розпилення в атмосфері кисню. Як покриття застосовують сірчистий цинк (ZnS , коефіцієнт переломлення $n=2,36$) і фтористий магній (MgF_2 , $n=1,38$).

Ефективність більшості процесів лазерної обробки в значній мірі визначається концентрацією енергії в плямі нагрівання. Тому основна увага при проектуванні систем, що фокусують, звертається на досягнення мінімального розміру лазерного пучка в зоні обробки. Діаметри сфокусованих лазерних пучків від 10 до 1000 мкм. Це дозволяє отримати щільність потужності 10^6-10^{10} Вт/см² та щільність енергії 10^3-10^5 Дж/см². Лазерний пучок має мінімальний розмір у площині перетяжки, що має складову, обумовлену розбіжністю пучка, і складову, котра залежить від абераций оптичної системи, що фокусує.

Для зменшення складового діаметра перетяжки лазерного пучка, обумовленої його розбіжністю необхідно:

- зменшувати фокусна відстань лінзи;
- застосовувати технологічні лазери з пучками малих поперечних переріз
- зменшувати розбіжність лазерного пучка
- зменшувати довжину хвилі випромінювання
- збільшувати відстані від випромінювача до місця установки лінзи, що фокусує.

При формуванні лазерного пучка великий вплив на його параметри має сферична аберация. У результаті сферичної аберации хвильовий фронт пучка являє собою деяку сферичну поверхню, що веде до зміни параметрів перетвореного лазерного пучка.

Для зменшення складової діаметри перетяжки лазерного пучка, обумовленою аберацией необхідно:

- зменшити аберацийний параметр за рахунок вибору раціональної форми лінзи і матеріалу, а також правильної установки лінзи щодо напрямку лазерного пучка;

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

- застосовувати технологічні лазери з малими поперечними перерізом пучка випромінювання;
- збільшувати, при можливості, фокусну відстань лінзи.

При рішенні задач лазерної технології виникає необхідність змінити не тільки площа плями впливу, але і форму лазерного пучка на оброблюваній поверхні. Прямокутна форма пучка на оброблюваній поверхні може бути отримана:

- при фокусуванні лазерного пучка циліндричною лінзою;
- при фокусуванні пучка об'єктивом, що складається з двох циліндричних лінз, розгорнутих друг щодо друга на 90 градусів;
- при застосуванні активного елемента, що має прямокутний перетин
- дзеркальним об'єктивом, до складу якого входять дзеркальна призма і два дзеркала, що фокусують.

Пучки, що мають у перетині круглу форму, можуть бути трансформовані в сфокусований кільцевий пучок за допомогою спеціальних оптичних систем. Для цього може бути застосована оптична система, що включає аксікон і сферичну лінзу. Кільцевий пучок на оброблюваній поверхні утвориться при фокусуванні суцільного лазерного пучка дзеркалом з тороїдальною поверхнею. Обробка відбувається відразу по всій кільцевій поверхні.

Оптичні елементи можуть бути рухливими і нерухомими. Рухливі елементи застосовуються при:

- динамічному фокусуванні, коли за допомогою оптико-механічних пристроїв лінза і відповідно перетяжка лазерного пучка роблять подовжні коливання з амплітудою в декілька мм і з частотою кілька десятків Гц;
- автоматичному фокусуванні;
- скануванні лазерного випромінювання.

Для підтримки постійного положення фокальної площини лінзи відносно заготовки застосовуються опорні елементи і датчики.

Основними способами фіксації оптичних деталей в оправі є завальцювання і кріплення різьбовими кільцями.

Пристрій фокусування складається в загальному випадку з трьох каналів: енергетичного, спостережного і освітлювального. Енергетичний канал призначений для формування потоку випромінювання. Спостережний канал служить для наведення випромінювання на оброблювану зону, для контролю за процесом обробки й оцінки її результатів. Освітлювальний

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

канал забезпечує підсвічування зони обробки. Енергетичний канал використовує оптичні елементи, що відбивають і фокусують. Зміна напрямку поширення випромінювання проводять за допомогою призм внутрішнього відображення або дзеркал. Інтерференційні дзеркала застосовують при роботі з випромінюванням у видимій і ближній інфрачервоній області спектра. Спостережний і енергетичний канали мають загальну лінзу, що фокусує. Для наведення випромінювання на оброблювану поверхню і спостереження використовуються дзеркало або призма й окуляр. У фокальній площині окуляра встановлюється сітка з перехрестям для наведення випромінювання на об'єкт і шкала для виміру. Освітлювальний канал складається з лампи і конденсора.

У спостережному каналі можуть застосовуватися візуалізатори зображення та телевізійні системи.

2. Пристрій фокусування комбінований

Пристрій оптичний комбінований призначений для фокусування лазерного променя з робочою довжиною хвилі $\lambda=1,06$ мкм, напрямку його на оброблювану поверхню і контролю наведення. Використовується в комплектах з лазерами, гранично припустима потужність випромінювання яких на вході пристрою не повинна перевищувати 125 Вт для багатомодових лазерів і 16 Вт для одномодових лазерів. Пристрій призначено для роботи при температурах від 10°C до 35°C, відносної вологості повітря від 65 до 80%, атмосферному тиску від 630 до 800 мм рт. ст. Пристрій, у разі потреби, дозволяє працювати з подачею газу в місце обробки.

Пристрій фокусування містить у собі два оптичних канали: енергетичний канал - для фокусування і наведення лазерного випромінювання; спостережний - для контролю зони обробки. Пристрій фокусування виконано у виді одного блоку, усередині якого розташовані зазначені канали. Обидва канали мають загальну частину -об'єктив, що фокусує. Він знаходиться у нижній площині корпусу системи. Пристрій фокусування укомплектовано двома об'єктивами з фокусними відстанями $f = 50$ і $f = 100$.

Енергетичний канал складається з двокомпонентної оптичної системи (розсіювальна лінза й об'єктив), інтерференційного дзеркала і об'єктива, що фокусує. Механізм переключення дозволяє вводити в енергетичний канал розсіювальну лінзу (2x або 4x) двокомпонентної оптичної системи поворотом ручки, яка розташована на боці пристрою. При повороті ручки в енергетичний

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

канал вводиться оправа з двократною, або чотирикратною лінзою. В обраному положенні оправа фіксується пружиною. Об'єктив двокомпонентної оптичної системи може переміщатися уздовж оптичної осі в межах 14 мм. Переміщення об'єктива відраховується по шкалі маховика, частина сектора якого виходить на передню панель пристрою. Переключення кратності двокомпонентної оптичної системи не допускається при працюючому лазері.

Спостережний канал складається з об'єктива, що фокусує, інтерференційного дзеркала і трубки для спостереження. У трубці розташовані дзеркало, світлофільтр, пластина з перехрестям, окуляр. Світлофільтр забезпечує захист очей оператора від випромінювання лазера.

Для підсвічування робочої зони застосовується пристрій, що може змінювати своє положення щодо цієї зони. До нього входять конденсор і лампа. Освітлювальний пристрій може бути розміщений окремо від пристрою фокусування.

Для запобігання влучення пилу в місці з'єднання з лазером у системі передбачений висувний тубус.

Для кріплення системи служать чотири отвори М6, розташовані на нижній площині корпусу системи.

Принцип дії пристрою фокусування полягає в наступному. Випромінювання лазера попадає на двокомпонентну оптичну систему енергетичного каналу, що служить для попереднього формування пучка випромінювання лазера для об'єктива, що фокусує. Змінні розсіювальні лінзи служать для дискретної зміни збільшення двокомпонентної оптичної системи, що забезпечує зміну діаметра плями випромінювання лазера на поверхні оброблюваної заготовки. Інтерференційне дзеркало служить для зміни напрямку оптичної осі. Площина фокусування сполучена з площиною різкого бачення в спостережливій системі.

Діаметр плями випромінювання в зоні обробки регулюється дискретно при переключенні лінз двокомпонентної оптичної системи (2x і 4x) і плавно - при переміщенні об'єктива двокомпонентної оптичної системи.

Результат дії енергетичної системи залежить від величини її еквівалентної фокусної відстані, обумовленого формулою:

$$f_s = f_o / \beta$$

де f_s - еквівалентна фокусна відстань енергетичної системи, мм;

f_o - фокусна відстань об'єктива, що фокусує, мм;

β - поперечне збільшення двокомпонентної оптичної системи, чисельно рівне числовому індексові розсіювальної лінзи, крат.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Діаметр мінімальної світлової плями в площині наведення спостережливої системи визначається за формулою:

$$d = f_s * \Theta$$

де d - мінімальний діаметр світлової плями по заданому рівні інтенсивності;

Θ - розбіжність лазерного випромінювання по відповідному рівні інтенсивності.

Під час роботи оброблювану зону заготовки поставити в перехрестя або встановлене місце плями лазерного випромінювання (по окуляру); навести різкість, маніпулюючи висотою координатного стола з заготовкою; включити технологічний лазер і працювати відповідно до заданого режиму.

Система повинна працювати при циклічному режимі: 4 години роботи і година перерви.

Пристрій фокусування вимагає обережного й акуратного ставлення, необхідно оберігати його від ударів, вібрацій, різких перепадів температури, пилу і вологи. У випадку виходу з ладу покриття інтерференційного дзеркала необхідно замінити його. При наявності на склі жирових слідів протерти його батистом, змоченому в спирті ректифікованому.

Основні технічні характеристики

1. Система постачена двома змінними об'єктивами з фокусною відстанню, мм	50, 100
2. Збільшення спостережливої системи, крат, при об'єктиві $f=50$	40
$f=100$	20
3. Кратність двокомпонентної оптичної системи.....	2x, 4x
4. Поле зору спостережної системи у площині обробки, мм, при об'єктиві $f=50$	3
$f=100$	6
5. Діаметр вхідного отвору двокомпонентної оптичної системи, мм при кратності 4x.....	5
при кратності 2x.....	12,5
6. Зсув центра плями зображення відносно перехрестя сітки окуляра при переключенні збільшення з положення 2x у положення 4x при об'єктиві $f=50$, поділів, не більш.....	2
7. Ціна поділки шкали окуляра, мкм, при об'єктиві $f=50$	25

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

f =100.....	50
8. Напруга живлення освітлювача при споживаній потужності 15 Вт, В.....	6
9. Габаритні розміри, мм	
10. Довжина * ширина * висота.....	405x230x300
11. Маса, кг.....	6

3. Порядок виконання роботи

- 3.1. Ознайомитися з конструкцією пристрою фокусування твердотілого лазера і його технічними характеристиками.
- 3.2. Навести схему пристрою фокусування твердотілого лазера.
- 3.3. Ознайомитися з методом юстирування пристрою фокусування.
- 3.4. Провести юстирування пристрою фокусування.
- 3.5. Навести схему юстирування пристрою фокусування твердотілого лазера.
- 3.6. Оформити звіт і зробити висновки по роботі.

4. Методика виконання роботи

Метою юстирування є сполучаючи оптичних осей випромінювача твердотілого лазера і пристрою фокусування. Юстирування проводимо з використанням газорозрядного лазера і діафрагм. Твердотілий технологічний лазер попередньо треба юстирувати і перевірити на вихідні параметри. До проведення юстирування оптичні деталі повинні пройти операцію чищення, у результаті якої з поверхні деталей віддаляються сліди жиру, пилу й інших забруднень. Перед газорозрядним лазером і торцями активного елемента випромінювача твердотілого лазера встановити діафрагми з невеликим отвором у центрі

Фактичну вісь системи твердотілий лазер – пристрій фокусування визначають по випромінюванню допоміжного газорозрядного лазера. Його розміщують з боку глухого дзеркала твердотілого лазера. При цьому пристрій фокусування повинен стикатися тубусом з вихідним вікном лазера або розташовуватися від вікна на відстані, при якій відсутнє діафрагмування оправами вхідних лінз пристрою фокусування випромінювання твердотілого лазера.

Установити допоміжний газорозрядний лазер так, щоб вісь його променя співпала з віссю активного елемента твердотілого лазера. Для цього за

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

допомогою координатного столу установити газорозрядний лазер у такий спосіб, щоб його промінь проходив через центр отворів у діафрагмах, які розташовані біля активного елемента, і відбитий від його торців повернувся в центр діафрагми газорозрядного лазера.

Шляхом взаємного переміщення пристрою фокусування домагаються сполучення осей газорозрядного лазера і пристрою фокусування. Для цього:

- на координатний стіл перед пристроєм фокусування покласти екран;
- маховик руху окуляра двокомпонентної оптичної системи установити у положення "0", а перемикач збільшення двокомпонентної оптичної системи - у положення 2x;
- маніпулюючи висотою координатного стола, одержати чітке зображення поверхні екрана і плями випромінювання газорозрядного лазера в окулярі спостережного каналу, що повинне збігатися з перехрестям окуляра;
- фіксувати пристрій фокусування.

Після сполучення оптичних осей по променю газорозрядного лазера включити твердотільний лазер, установити мінімальну потужність генерації, перевірити проходження лазерного променя через систему при положенні телескопічної системи 2x і спостерігати його на візуалізаторі. Проходження променя зручно спостерігати на розфокусованій плямі випромінювання. Воно не повинно бути зарізано. Після закінчення юстирування лазери виключають.

З метою забезпечення безпеки роботи із системою забороняється працювати з відкритими кришками і знятими світлофільтрами пристрою фокусування. Необхідно працювати у захисних окулярах зі світлофільтрами зі скла СЗС-9.

5. Контрольні запитання

- 5.1. З яких пристроїв складається система фокусування лазерного випромінювання?
- 5.2. Які системи транспортування лазерного випромінювання ви знаєте?
- 5.3. Будова пристрою фокусування.
- 5.4. У чому полягає принцип фокусування?
- 5.5. Назвіть технічні параметри системи фокусування.

ЛАЗЕРНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Список рекомендованої літератури

1. Зебов В.А. Методы измерения характеристик излучения.- М. Наука. 1973.- 192с.: ил.
2. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения/ А.Ф. Катюк, Б.Я. Бурдаев, Р.А. Валитов и др.: Под ред. А.Ф. Катюка.- М.: Радио и связь. 1981.- 288с.: ил.
3. Технологические лазеры: Справочник: В 2т. Т2: Системы автоматизации. Оптические системы. Системы измерения. /Г.А. Абильситов, В.Г. Гонтарь, А.А. Колпаков и др.: Под общей ред. Г.А. Абильситова.- М.: Машиностроение. 1991.- 544с.: ил.
4. Хирд Г. Измерение лазерных параметров. Пер. с англ. /Под ред. Ф.С. Файзуллова.- М.: Мир. 1970.- 539с.: ил.

Зміст

- | | |
|---|----|
| 1. Лабораторна робота № 1. Вимірювання енергії імпульсів випромінювання твердотілого лазера | 5 |
| 2. Лабораторна робота № 2. Вимірювання потужності випромінювання твердотілого лазера | 12 |
| 3. Лабораторна робота № 3. Пристрій фокусування лазерного технологічного обладнання | 16 |