

Інструментальні мікроскопи. Особливості застосування

У конструкції вимірювальної машини крім трубки оптиметра, в якій використано принцип оптичного важеля, також знаходять застосування та інші оптичні пристрої, що лежать в основі конструкцій ряду оптичних вимірювальних приладів. Такі прилади отримали назву *оптичних вимірювальних приладів*

Оптичні вимірювальні прилади побудовані на принципі дослідження людським оком збільшеного тіньового зображення вимірюваного предмета. До числа таких вимірювальних приладів відносяться, широко застосовуються в інструментальному виробництві, *інструментальний і універсальний мікроскопи та проектори*

Інструментальний мікроскоп моделі ІТ служить для вимірювання складних профілів інструменту. Він складається з оптичної головки, що пересувалася вгору і вниз по стійці, столу з санчатами, що переміщуються на кульках в поздовжньому і поперечному напрямках, підстави та освітлювального пристосування. Сійка може при необхідності повертати навколо горизонтальної осі. Груба установка оптичної головки по висоті проводиться від руки, точна - гвинтом, а її закріплення в установленому положенні – гвинтом. Два мікрометричних пристрої служать для відліку поперечного та поздовжнього переміщення стола. Видима на столі мікроскопа рамка з центрами призначена для закріплення деталей

Принцип роботи інструментального мікроскопа полягає в наступному. Від джерела світла промені йдуть крізь спеціальний пристрій, зване діафрагмою і регулюючий кількість світла, що проходить. Відбиваючись в дзеркалі, вони проходять прозору пластинку повз розташованого на столі змінюваного предмета і слідує далі в об'єктив, збільшую-м розміри розглянутого контуру. Надалі, чотири рази заломлюючись в трьох призмах, промені виходять перпендикулярно до матозому скляному екрану, на якому нанесені темні штрихи, і стають помітними в окулярі. В окулярі можна бачити освітлений контур вимірюваного предмета, збільшений в 30 разів

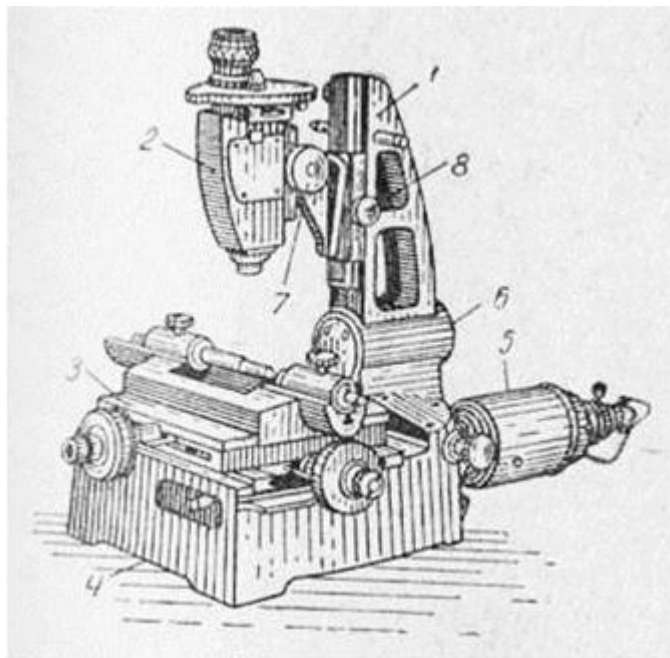


Рис. 1 Інструментальний мікроскоп

Процес вимірювання на описуваному приладі складається з наступних операцій:

- а) установка предмета до збігу вимірюваної частини профілю з певною лінією або профілем екрану;
- б) переміщення предмета або екрану до збігу другій частині профілю з тієї ж лінією або профілем на екрані;
- в) відлік по екрану або мікрометричним пристроєм виробленого переміщення предмета від однієї лінії екрану до іншої

При вимірюванні кутів весь процес здійснюється за допомогою оптичної головки мікроскопа, а при вимірюванні довжини роль оптичної головки обмежується тільки контролем точності установки деталі і перенесенням розмірів; відлік проводиться по мікрометричним пристроїв

Мікроскоп має змінні об'єктиви зі збільшенням в десять, п'ятнадцять і тридцять разів. Його штрихові екрани також змінні

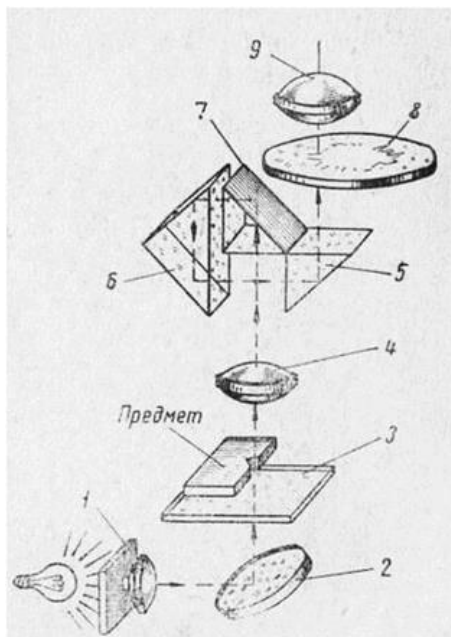


Рис. 2 Оптична схема мікроскопа

Мікроскоп має і спеціальний екран для вимірювання різьби, а також кутомірний екран

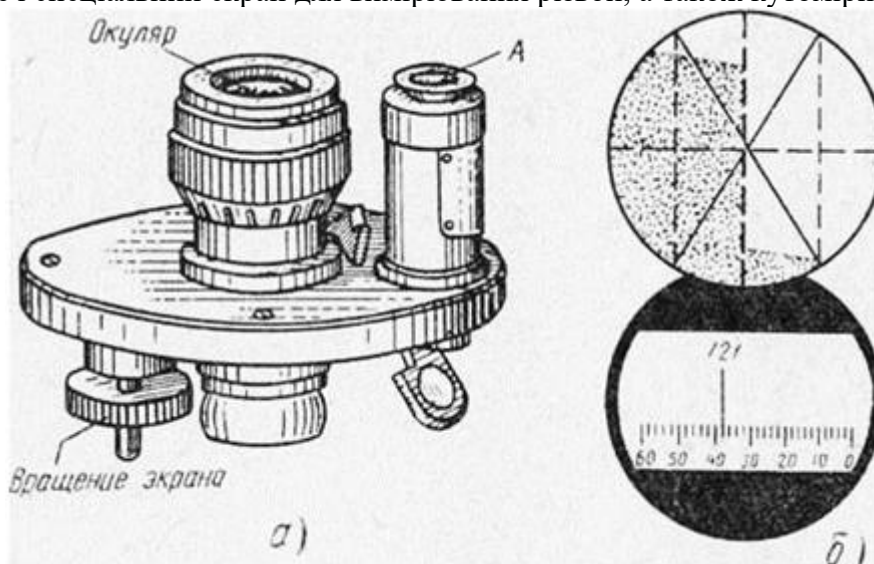


Рис. 3 Кутомірний екран: а – загальний вигляд; б – поле зору бокового мікроскопа А і окуляра

У середній частині кутомірного екрану розташовані дві ризики, з якими може поєднуватися контур вимірюваного предмета. По всьому колу екрану нанесена кутова шкала від 0 до 360° з розподілами через кожен градус. Шкала розглядається через бічний мікроскоп А, в якому крім градусної шкали видно поділки з інтервалом у дві хвилини. Шкала бокового мікроскопа з відліком 121° 38' показана на рис. 3, б

Точність перевірки кутових величин на інструментальному мікроскопі становить + 1-2', а лінійних вимірювань + 0,005 мм. Щоб забезпечити необхідну точність, потрібно отримати максимальну різкість зображення. Це досягається відповідним регулюванням діафрагми і правильною установкою оптичної головки по висоті

Інтерференційні ЗВТ.

Принцип дії інтерференційних ЗВТ ґрунтується на хвильовій природі світлових променів. Колір світлових променів залежить від довжини (частоти) їх хвиль, що знаходиться у межах від 0,38 до 0,78 мкм. Довгі хвилі мають червоний колір, а короткі — синій та фіолетовий. Жовте та зелене світло має довжину хвилі 0,5 мкм. С джерела світла, що випромінюють хвилі всіх довжин, і джерела світла, які випромінюють хвилі тільки однієї довжини, лінійчатого спектра.

Усі світлові промені (хвилі) можуть накладатися і, як наслідок, підсилюватися чи послаблюватися, залежно від збігу фаз і частоти їх коливань. *Інтерференцією світла* називають посилення або послаблення його накладання світлових хвиль. Для отримання явища інтерференції потрібні джерела світла, що мають сталу у часі різницю фаз і когерентні світлові хвилі, тобто, щоб світлові промені виходили з одного джерела і поширювалися в одному напрямку. Для забезпечення таких умов беруть одне джерело світла та розділюють його промені на два, кожний з яких проходить своїм шляхом, а потім їх накладають. У цьому разі явище інтерференції залежатиме тільки від довжини шляху, який пройшли обидва промені світла. Різниця довжини шляхів має бути меншою від половини довжини хвилі заданого променя світла. За умови рівності цієї різниці половині довжини хвилі внаслідок накладання обох променів вони "гасяться".

Для точного вимірювання розмірів і відхилень від площинності використовують інтерференцію світла, отриману за допомогою плоскопаралельних і клиноватих пластин. Інтерференція виникає під час проходження світла через скляну (прозору) пластину або через повітряний клин, утворений між поверхнями скляної пластини та полірованої металеві поверхні виробу. Інтерференційні смуги, які видно крізь скляну пластину, мають бути прямолінійними і паралельними до ребра клина. Найконтрастнішими вони бувають біля самого ребра клина. Схема виникнення інтерференційних смуг зображена на рис.4.

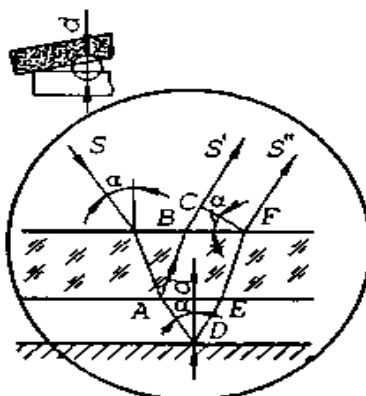


Рис. 2.3.1.

Рис.4. Схема виникнення інтерференційних смуг.

Промінь світла S , що падає на скляну пластину під кутом α , у точці A поділяється на два промені S' і S'' . Промінь S' , що перебуває у густішому середовищі, відбившись від границі середовищ з різною густиною, запізнюватиметься на довжину напівхвилі. Після виходу зі скляної пластини промені S' і S'' будуть інтерферувати. Підсилення чи послаблення світла під час інтерференції залежатиме від різниці шляхів променів S' і S'' . Різницю шляху визначають за товщиною клина d , у місці розділення променя S . Різницю шляхів променів записують у вигляді

$$R = AD + DE - BC + \frac{\lambda}{2}, \quad (4.1)$$

де R — різниця шляху променів S' і S'' , мм;
 AD , DE і BC — довжини відповідних відрізків, мкм;
 λ — довжина хвилі світлового променя, мкм.

Після деяких спрощень і перетворень з (4.1) отримують

$$R = 2d \cos \alpha + \frac{\lambda}{2}, \quad (4.2)$$

де α — кут між напрямком світлового променя та перпендикуляром до скляної поверхні (кут падіння променя), . Для $\alpha = 0^\circ$

$$R = 2d + \frac{\lambda}{2}. \quad (4.3)$$

Визначивши різницю шляхів інтерферованих променів за довжиною напівхвиль, тобто

приймавши $R = k + \frac{\lambda}{2}$, для $\alpha = 0^\circ$ отримаємо

$$k = \frac{4d}{\lambda} + 1 \quad (4.4)$$

З (4.4) випливає, що погашення світла (утворення темних смуг) властиве для товщини повітряного клина $d=0; \lambda/2; 2\cdot\lambda/2; 3\cdot\lambda/2; \dots$, ще відповідає непарному значенню k . Відстань між сусіднім темними смугами відповідає зміні товщини клина на $\lambda/2$, а перша темна смуга завжди розміщується вздовж ребра клина. Ясні смуги утворюються для товщинах повітряного клина $d=0,5\cdot\lambda/2; 1,5\cdot\lambda/2; 2,5\cdot\lambda/2; \dots$, що відповідає парному значенню k . Розміщення інтерференційних смуг зображене на рис.4.2, а.

Інтерференція відбувається тільки для монохроматичного світла заданої довжини хвилі. Біле світло розсіюється на окремі смужки, тому за ширину смуги приймають відстань між серединами двох сусідніх смуг однакового кольору. Інтерференція білого світла виникає тільки для товщини клина меншого від 2 мкм, що відповідає 6-7 смугам для $\lambda = 0,3$ мкм. Решта смуг будуть практично невидимими.

Для менших кутів клина (рис.4, б) відстань між інтерференційними смугами збільшена і вони віддалені від ребра клина, а для більших кутів ширина інтерференційної смуги зменшується і вони ближчі до ребра клина (рис.4.2, в). У місці проходження кожної смуги товщина клина залишається сталою і дорівнює відповідно $\lambda/2; 2\cdot\lambda/2; 3\cdot\lambda/2; \dots$. Переміщення нижньої пластини у напрямку x для сталого кута клина смуги відбувається у напрямку y , але ширина їх залишається незмінною (рис.4.2, з). Переміщенню x відповідає переміщення смуг $= i$. Тому чутливість (коефіцієнт) перетворення

$$u_i = \frac{y}{x} = \frac{2i}{\lambda} \quad (4.5)$$

де u — чутливість перетворення;

i — крок хвилі променя, мкм.

Підставивши значення i у (4.5), отримують $u_i = 1/\text{tg}\alpha$, що свідчить про пряму залежність чутливості цього перетворення від кута клина. Обидві залежності інтерференційних смуг від кута клина і лінійного переміщення нижньої пластини використовують для побудови інтерференційних ЗВТ.

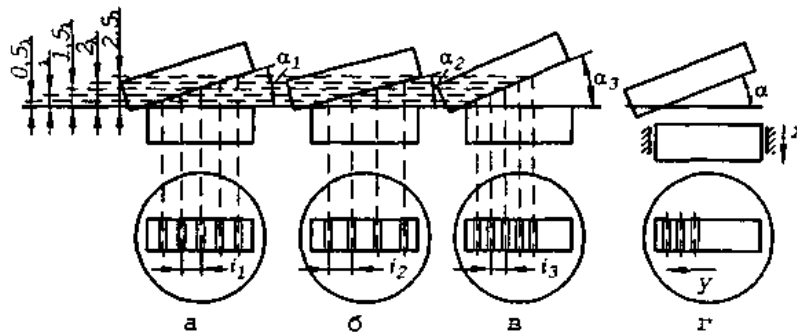


Рис.5. Схема розміщення інтерференційних смуг.

Як видно з рис.4,

$$\frac{\lambda}{2} = i \text{tg}\alpha \quad \text{або} \quad i = \frac{\lambda}{2 \text{tg}\alpha} \quad (4.6)$$

Вертикальний контактний інтерференційний компаратор (рис.4.3) призначений для вимірювання розмірів і відхилень плоскопаралельності лінійних кінцевих мір відносним способом. Основним вузлом компаратора є трубка інтерферометра. Найбільшу допускну похибку вимірювання компаратора визначають як

$$\Delta_B = \pm \left(0,03 + 1,5n^3 \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right) \quad (4.7)$$

де Δ_B — похибка вимірювання компаратора, мкм;

n — кількість поділок шкали від нульової риски;

$\Delta\lambda$ — похибка довжини хвилі за атестатом компаратора, мкм;

λ — довжина хвилі променів, яку пропускає фільтр, мкм.

Світло від джерела 1 (рис.5) проходить через конденсор 2, щілину 3 і далі або через світлофільтр 4 на розділювальну напівпосріблену пластину 6. Частина променів світла, відбита від поверхні пластини 6, проходить до поворотного дзеркала 5 і, відбившись від нього, вертається назад до пластини 6. Решта променів світла, що пройшла через пластину 6 і компенсатор 7, направляється до рухомого дзеркала 8, закріпленого до вимірювального щупа 9, і, відбившись від нього, також повертається до пластини 6. Компенсатор 7 забезпечує рівну довжину шляхів розділених променів світла у склі. Тому пластину 6 і компенсатор 7 роблять однакової товщини з однієї марки оптичного скла. Відбиті від основного 5 і рухомого 8 дзеркал промені зустрічаються та інтерферують на нижній площині пластини 6.

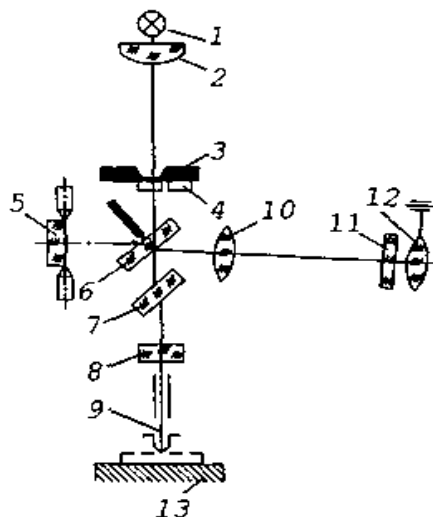


Рис. 2.3.3.

Рис.5. Вертикальний контактний інтерференційний компаратор.

За допомогою об'єктива 10 інтерференційне зображення проектується на площину сітки 11, яку видно через окуляр 12. Основне дзеркало 5 разом з рухомих дзеркалом 8 утворюють повітряний клин. Змінюючи кут повертання дзеркала 5, змінюють ширину інтерференційних смуг кількість на заданій ділянці шкали. Відповідно змінюється чутливість компаратора та ціна поділки його шкали, яку встановлюють для монохроматичного (переважно зеленого) світла. На всій робочій ділянці шкали добре видно інтерференційні темно- та світлозелені смуги. Для встановлення заданої ціни поділки шкали повертають дзеркало 5 так, щоб на ділянці шкали з n поділок розмістилось k інтерференційних смуг, кількість яких

$$k = \frac{2ni}{\lambda} \quad (4.8)$$

Наприклад, для $i = 0,2$ мкм і $\lambda = 0,550$ мкм, прийнявши $n = 40$, отримуємо $k = 29$.

Оскільки розміри кінцевих мір визначають за допомогою білого світла, у центрі кожної темної смуги інтерференційного зображення видно чорну ахроматичну смужку та кілька кольорових. Чорну смужку використовують як стрілку шкали, що відхиляється відповідно до переміщень вимірювального щупа з дзеркалом 8. Оскільки вимірювання виконують відносним способом, то спочатку на предметний столик 13 встановлюють попередньо атестовану міру-зразок, а потім, зміщуючи предметний столик за допомогою грубого та точного механізмів, намагаються сумістити ахроматичну смужку з нульовою рисою шкали. Після цього замість зразкової міри на предметний столик встановлюють вимірювану кінцеву міру і різницю їх розмірів визначають за зміщенням ахроматичної смужки відносно шкали.

Інтерференційні вимірювання за допомогою стандартних скляних пластин широко застосовуються у машинобудуванні завдяки своїй простоті та відносно низькій вартості. Ці вимірювання використовують для визначення середніх розмірів і відхилень від плоскопаралельності лінійних кінцевих мір, а також відхилень від площинності робочих поверхонь різних вимірювальних засобів.

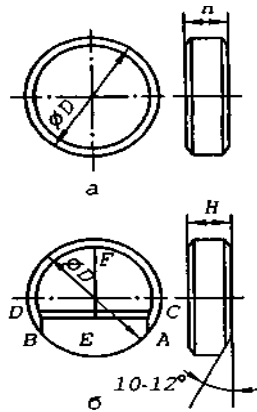


Рис. 2.3.4.

Рис.6. Скляні пластини.

Для вимірювань використовують стандартні скляні пластини циліндричної форми (рис.6). До нижніх пластин (рис.6,*а*) притирають поверхню вимірюваної кінцевої міри. Верхні пластини (рис.6,*б*), які служать для вимірювання відхилень розмірів кінцевої міри від зразкової, мають зрізану під кутом 10-12° поверхню. На не зрізаній поверхні пластини нанесені риски *EP* і *CD* під кутом 90° одна до одної. Риска *CD* паралельна до ребра *AB* пластини. Нижні пластини виготовляють двох класів точності з допускними граничними відхиленнями від площинності відповідно 0,03 до 0,1мкм. Верхні пластини виконують одного класу точності з відхиленням. Для визначення відхилень від площинності використовують нижні скляні пластини.

Пластину кладуть на вимірювану (досліджувану) поверхню та легко притискають з одного боку, створюючи невеликий повітряний клин для отримання інтерференційних смуг. Якщо кривизна інтерференційних смуг не перевищує половини відстані між ними (крок), то таку кінцеву міру вважають прийнятною.

На рис.7,*а* зображені інтерференційні смуги для кінцевої міри з незначними відхиленнями від площинності для встановленої скляної пластини на коротке ребро, а на рис.7,*б* — інтерференційне зображення для пластини, встановленої на довге ребро. Інтерференційні смуги для поверхні кінцевої міри зі значними відхиленнями від площинності бачимо на рис.7, *в* і *г*. Відхилення від площинності визначають за відношенням величини *a* інтерференційної смуги до її ширини *l* (рис.4.5, *в*). Як видно з рисунка, $a \approx l/2 = \lambda/2$.

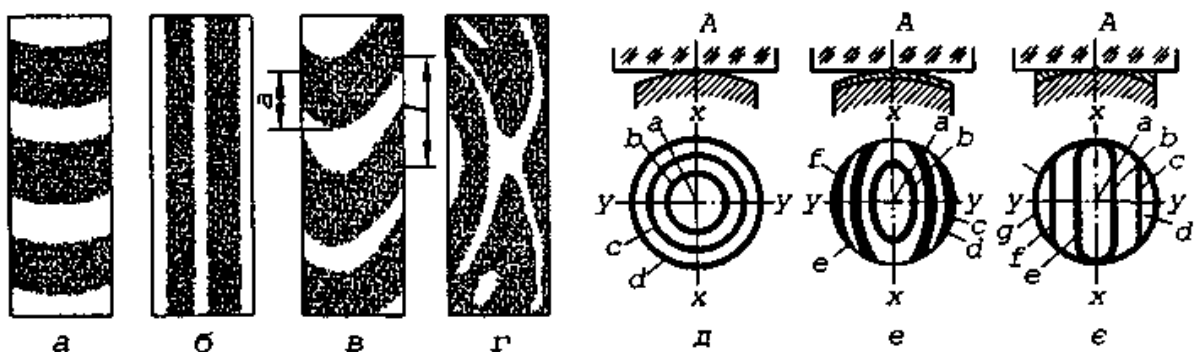


Рис.7. Інтерференційні смуги для кінцевої міри.

Вигнуті чи увігнуті невеликі круглі робочі поверхні, наприклад, торцьові поверхні п'яток і шпинделів мікрометрів, важільних скоб тощо, перевіряють за допомогою інтерференційних кілець, які утворюються у разі притискання скляної пластини не скраю, а у середині (рис.7,*д,е,е*).

Оцінюючи величину відхилень від площинності, зовнішнє кільце (*i* не враховують, якщо воно розміщене у зоні 0,5мм (для мікрометрів) від краю робочої поверхні (рис.7,*д*), а також не беруть до уваги смуг *d, f* (рис.7, *е*) та *d* і *g* (рис.7, *е*). Інтерференційні смуги мають еліптичну форму, якщо радіуси кривизни поверхні у різних перерізах, що проходять через точку *A*, неоднакові. На рис.7, *е* радіус кривизни у перерізі *XX* більший ніж у перерізі *УУ*. У

цьому разі еліпс приймають за першу смугу, а смуги *с і е* — за другу, оскільки вони tworять ще один еліпс, перерваний через обмеження вимірюваних розмірів поверхні.

Інтерференційні кільця перетворюються у прямі лінії для вимірюваної поверхні, що має циліндричну форму (рис.7, е). Контакт скляної пластини з такою поверхнею відбувається по прямій лінії А, яка є твірною циліндричної поверхні. Як і у попередньому випадку, кожна пара смуг (*б і е*, *с і ф*) є однією смугою. Якщо з обох боків контакту спостерігають різну кількість смуг, то відлік роблять на боці, де їх більше.

Лазери — це найінтенсивніші серед використовуваних сучасною технікою джерел світла. Інтенсивність лазера вища від найбільшої інтенсивності некогерентних джерел світла майже у 10^5 разів. Це дає змогу візувати світло безпосереднім направленням світлових променів у заданому напрямку, виконувати інтерференційні вимірювання у нормально освітлених умовах, а відстані для оптичних вимірювань приймати у багато разів більшими.

Використання лазерів, особливо газових видимого діапазону, дуже розширило можливості вимірювання лінійних і кутових розмірів, а також спростило способи їх визначення. Просторова когерентність лазерного світла дає змогу досягти точності кутових розмірів 1 мкрад на відстані сотень метрів.

Одним із поширених способів використання лазерів є метод вивірення розміщення елементів складних великих конструкцій (цистерн, корпусів автобусів, кораблів, ракет, будівель тощо) відносно променя лазера. Для підвищення точності вивірення використовують детекторний пристрій (рис.8). Промінь світла від лазера 1 спрямовують на встановлений на заданому елементі конструкції фотоелемент 2. У разі точного візування променя світла у центр фотоелемента індикатори 3 і 4 будуть на нульових позначках. Відхилення лазерного променя від центра у будь-який бік зумовлює відповідне відхилення індикаторів 3 і 4, що визначають координати відхилень по осях ординат та абсцис. Обладнання цього пристрою серводвигуном дає змогу автоматизувати процес візування. Такі лазерні пристрої широко використовують у корабле-, літако-, ракето-, тунелебудуванні тощо.

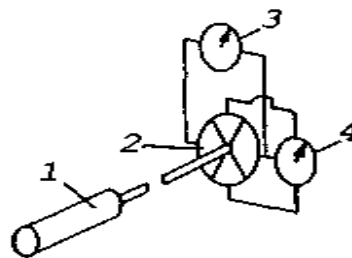


Рис. 2.3.6.

Рис.8. Детекторний пристрій лазерного довгоміра.

Лазери використовують також для вимірювання великих лінійних розмірів за допомогою оптичної інтерференції світла. Когерентність лазерного світла та сучасна обчислювальна техніка дають змогу точно та швидко визначати кількість інтерференційних смуг для великих розмірів.