

Тема 3 Візуально-оптичний контроль (ВОК)

Мета вивчення теми – здобуття загальних знань щодо візуально-оптичного контролю та меж його застосування

План лекції (4 год):

- 3.1 Завдання, розв'язувані ВОК. Фізичні основи методу.
- 3.2 Вимоги до проведення ВОК.
- 3.3 Загальні терміни вимірювального контролю.
- 3.4 Прилади для візуально-оптичного та вимірювального контролю.

3.1 Завдання, розв'язувані ВОК. Фізичні основи методу

Візуальним контролем називається контроль, який проводиться шляхом огляду об'єкта неозброєним оком. Контроль із застосуванням нескладних оптичних засобів (дзеркал, луп та ін.) називають **візуально-оптичним**.

Під час візуального контролю оператор повинен виявити неозброєним оком дефект типу тріщини або точки корозії розміром 0,1 мм і більше. На небезпечних виробничих об'єктах візуальний і вимірювальний контроль регламентується керівним документом РД 03-606-03 [6].

Цей вид контролю відрізняється від інших видів неруйнуючого контролю границями спектральної області електромагнітного випромінювання, використовуваного для одержання інформації про об'єкт контролю. Видиме випромінювання, тобто світло, – це випромінювання, яке може безпосередньо викликати зорове відчуття.

Візуально-оптичний контроль і візуальний огляд – найбільш доступний і простий метод виявлення поверхневих дефектів деталей.

Основні переваги цього методу – простота контролю, нескладне встаткування, порівняно мала трудомісткість.

До недоліків слід віднести низьку вірогідність і чутливість, тому такий метод контролю застосовують у наступних випадках: для пошуку поверхневих дефектів (тріщин, пор, відкритих раковин і т.п.) при візуально-оптичному контролі деталей, доступних для безпосереднього огляду, а також більш дрібних тріщин при кольоровому, капілярному, люмінесцентному, магнітопорошковому і рентгенографічному контролі.

Основою візуального контролю є закони оптики.

1. Закон прямолінійного поширення світла. В однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно. Це впливає з того, що непрозорі предмети при висвітленні їх джерелами світла дають тіні з різко обкресленими границями. Закон прямолінійного поширення світла є наближенням, тому що при проходженні світла через дуже малі отвори спостерігаються відхилення від прямолінійності. Чим менше отвір, тим більше відхилення.

2. Закон незалежності світлових променів. Незалежність світлових

променів полягає в тому, що вони при перетинанні не обурюють один одного, тому що перетинання променів не заважає кожному з них поширюватися незалежно друг від друга. Незалежність зберігається в тому випадку, коли інтенсивність світла порівняно невелика. При інтенсивностях світла, отриманих лазером, незалежність не спостерігається.

3. Закон відбиття. При проходженні світла через границю двох прозорих речовин падаючий промінь розділяється на два: відбитий і переломлений. Напрямки цих променів визначаються законами відбиття й переломлення.

Закон відбиття говорить, що відбитий промінь лежить в одній площині з падаючим променем і нормаллю, відновленої в крапці падіння. Кут падіння дорівнює куту відбиття.

4. Закон переломлення. Згідно з даним законом, переломлений промінь лежить в одній площині з нормаллю, відновленої в крапці падіння. Відношення синуса кута падіння до синуса кута переломлення є величина постійна для даних речовин

Оптичним випромінюванням або світлом називається електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 10^{-3} – 10^3 мкм, у яким виділяються ультрафіолетова (УФ), видима й інфрачервона (ІФ) області спектра з довжинами хвиль, відповідно, 10^{-3} – $0,38$; $0,38$ – $0,78$ і $0,78$ – 10^3 мкм. У даному методі в основному використовується видима частина й до деякої міри УФ-частини спектра

Сила світла I – основна величина в системі величин, на якій побудована Міжнародна система одиниць. Сила світла характеризує світіння джерела видимого випромінювання в деякому напрямку.

Розмірність і одиниця сили світла - 1 кд (кандела). Кандела – це сила світла в даному напрямку від джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою 540.1012 Гц, енергетична сила світла якого в тому напрямку становить 1,683 Вт на стерадіан.

Світловий потік – це потік променистої енергії, оцінюваний пму о зорововідчуттю. Розмірність і одиниця світлового потоку - люмен. Люмен дорівнює світловому потоку, що випускається крапковим джерелом у тілесному куті 1 стерадіан (порівн) при силі світла 1 кд.

Освітленість у точці поверхні – величина, рівна відношенню світлового потоку, що падає на елемент поверхні, до площі цього елемента. Розмірність і одиниця освітленості називається люкс (лк). Люкс дорівнює освітленості поверхні площею 1 м^2 при падаючому на неї світловому потоці 1 лм.

Сучасні методи оптичного контролю засновані на взаємодії світлового випромінювання з поверхнею контрольованого об'єкта. При цьому розглядаються такі спектральні характеристики, як коефіцієнт спектрального випромінювання й поглинання, спектральний коефіцієнт пропускання, відбиття й показник переломлення.

Спектральний коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda)$ - відношенням потоку випромінювання, поглиненого усередині оптично прозорого середовища, до падаючого потоку випромінювання.

Спектральний коефіцієнт пропусення $\tau(\lambda)$ являє собою відношення потоку випромінювання, що пройшов через середовище, до потоку енергії, що впав на її поверхню.

Спектральний коефіцієнт відбиття $\rho(\lambda)$ визначають для складових світлового потоку з паралельними й перпендикулярними коливаннями стосовно площини падіння

Спектральний коефіцієнт відбиття, спектральний коефіцієнт пропусення й спектральний коефіцієнт поглинання зв'язані співвідношенням:

$$\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1. \quad (3.1)$$

Показник переломлення є відношенням швидкості поширення монохроматичного електромагнітного випромінювання у вакуумі до залежної від довжини хвилі швидкості поширення його в якому-небудь середовищі:

$$n(\lambda) = c/v(\lambda). \quad (3.2)$$

Основними елементами фізичної оптики є поляризація світла, інтерференція, дифракція і яскравість.

Поляризація світла – упорядкування й орієнтація векторів напруженості електричного й магнітного полів світлової хвилі в площині, перпендикулярній до світлового пучку.

Інтерференція – додавання в просторі двох або декількох хвиль із однаковими періодами. Інтерференція пояснюється хвильовою природою світла й використовується для точного виміру довжин і кутів, для контролю якості оброблених поверхонь.

Дифракція – сукупність явищ, спостережуваних при розповсюдженні світла в середовищі з різкими неоднородностями й пов'язаних з відхиленнями від законів геометричної оптики. Дифракція світла пояснюється хвильовою природою світла й приводить до огинання світловими хвилями перешкод і проникненню світла в область геометричної тіні.

Яскравість – це відношення сили світла до площі елемента. Розмірність і одиниця яскравості – кандела на квадратний метр ($\text{кд}/\text{м}^2$), яка рівна яскравості світної поверхні площею 1 м при силі світла 1 кд.

Основним оптичним інструментом є око. Оптична система ока складається з роговиці, рідини передньої камери, кришталіка й склоподібного тіла. Сила, або рефракція, ока залежить від величини радіусів кривизни заломлюючих поверхонь, відстаней між ними, показника переломлення роговиці, кришталіка, водянистої вологи й склоподібного тіла. Усі ці величини для різних очей мають різні значення. Нормальна зорова працездатність ока залежить від стану світлочутливого й рухового апарата.

Зорове стомлення може настати при розладі функцій одного або обох апаратів. Стомлення рухового апарата ока може бути наслідком необхідності часто переводити погляд з одного предмета на інші, а також стеження за

об'єктами, що рухаються. При незадовільному розподілі яскравості в освітленому просторі й шумі в приміщенні виникає явище дискомфорту – відчуття незручності або напруженості. Так, при яскравості більше 1 500 кд/м² зіниця ока максимально звужена й око швидко стомлюється. При зниженому висвітленні зіниця розширюється й настає швидке стомлення за рахунок зміни світлової чутливості зорового аналізатора. Ця здатність називається **адаптацією**.

Адаптація буває світлова й темнова. Здатність ока роздільно сприймати близько розташовані друг до друга крапки, лінії або інші фігури називається **розрішальною**. Здатність ока зауважуватись перед дрібними позначками й розрізняти їхню форму називається **гостротою зору**. Здатність ока пристосовуватися до чіткого бачення по-різному вилучених об'єктів називається **аккомофецією**.

3.2 Вимоги до проведення ВОК

Достовірність візуально-оптичного контролю визначається багатьма факторами, серед яких велике значення мають умови праці. Робоче місце повинне бути розраховане, як правило, на роботу сидячи. Вентиляція, опалення, висвітлення повинні забезпечувати комфортні умови праці. Лампи для місцевого висвітлення необхідно розміщувати так, щоб прямі промені не попадали в очі контролера. Край плафона повинен розміщатися трохи нижче рівня очей контролера. Поверхня стола не повинна бути білою, її не можна покривати склом.

Стационарні ділянки контролю необхідно розміщати в найбільш освітлених місцях, обладнаних штучним висвітленням. Освітленість повинна бути достатньою для виявлення дефектів, але не менш 500 лк. Ділянки повинні бути обладнані робочими столами, стендами, рольгангами й іншими засобами, що забезпечують зручності виконання робіт.

Фарбування поверхонь стін, стель, робочих столів і стендів повинна бути виконана у світлих тонах (блакитний, жовтий, світле-зелений, ясно-сірий), щоб збільшити контрастність контрольованих поверхонь, підвищити контрастну чутливість ока, знизити загальне стомлення фахівця, що виконує контроль.

Найкращі відстань для огляду – 25 см, але не більш 60 см. Підлягаюча контролю поверхня повинна розглядатися під кутом не менш 30⁰.

При монтажі, будівництві, ремонті, реконструкції, а також у процесі експлуатації технічних пристроїв і споруджень ВОК виконується на місці провадження робіт. При цьому повинне бути забезпечена зручність підходу фахівців, що виконують контроль, до місця проведення контрольних робіт, створені умови для їхнього безпечного виробництва.

Підготовка до контролю здійснюється підрозділами організації, що виконує роботи з ВОК, а в процесі експлуатації технічних пристроїв і споруджень – службами організації, якої належить контрольований об'єкт.

3.3 Загальні терміни вимірювального контролю

Окрім виявлення поверхневих дефектів під час візуального контролю можливо здійснення вимірювального контролю з метою визначення відповідності фактичних розмірів граничним значенням.

Лінійний розмір – це числове значення лінійної величини (діаметра, довжини) в обраних одиницях виміру. Лінійні розміри діляться на номінальні, дійсні й граничні.

Номінальний розмір – це розмір, отриманий конструктором при проектуванні в результаті розрахунків (на міцність, твердість, зносостійкість) або з обліком різних конструктивних, технологічних і експлуатаційних міркувань.

Виготовити деталь із абсолютно точним розміром не можливо, тому що неминучі погрішності. Усі виникаючі погрішності при виготовленні деталей можна розділити на 4 види: погрішності розмірів, форми поверхні, розташування поверхонь і погрішності якості поверхні.

Розмір, отриманий у результаті обробки деталі, буде відрізнятися від номінального; це буде **дійсний розмір**, тобто розмір, установлений виміром із припустимою погрішністю.

Щоб дійсний розмір забезпечував функціональну готовність деталі, установлюються два **граничні розміри** – найбільший і найменший. Це гранично припустимі розміри, між якими повинні перебувати або яким може бути рівний дійсний розмір придатної деталі. На кресленні на додаток до номінального розміру проставляють його **граничні відхилення**: верхнє й нижнє.

Верхнє відхилення – це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним розміром і номінальним.

Нижнє відхилення – це алгебраїчна різниця між найменшим граничним розміром і номінальним.

Різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами або алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім відхиленнями характеризує точність, з якої повинен бути виконаний розмір при виготовленні деталі, і називається **допуском**.

Допуск на відміну від відхилень знака не має. Чим більше допуск, тем нижче вимоги до точності обробки деталі. І навпаки, зменшення допуску означає більшу точність, необхідну при виготовленні деталі, а отже, її подорожчання.

Поле допуску відрізняється від допуску тим, що воно визначає не тільки величину, але і його положення щодо номінального розміру.

Дійсний розмір, тобто розмір, установлений виміром, буде придатним, якщо він виявиться не більше найбільшого граничного розміру й не менше найменшого граничного розміру.

Щоб визначити, який розмір вийшов після обробки деталі й чи відповідає він вимогам креслення, необхідно виміряти цю деталь.

Вимір – це знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Засіб вимірів – це технічний засіб, призначене для вимірів, що має нормовані метрологічні характеристики, що відтворюють і (або), що зберігають одиницю фізичної величини, розмір якої ухвалюється незмінним у межах установленої погрішності протягом відомого інтервалу часу.

По метрологічним призначенню засобу вимірів підрозділяються:

- на робочі засоби вимірів фізичних величин (вони є самими численними);
- метрологічні засоби вимірів, призначені для забезпечення єдності вимірів у країні.

Єдність вимірів – це стан вимірів, при яким результати вимірів виражені в узаконених одиницях і погрішності відомі із заданою ймовірністю.

Засобу вимірів класифікують:

- 1) по конструктивним виконанням – на заходи, вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні системи, вимірювальні комплекси;
- 2) за рівнем автоматизації – на неавтоматичні, автоматизовані й автоматичні;
- 3) за рівнем стандартизації – на стандартизовані й нестандартизовані;
- 4) стосовно вимірюваної фізичної величини – на основні й допоміжні.

Одиницями виміру є: для виміру лінійних розмірів – метр (м), міліметр (мм), мікромметр (мкм); для виміру кутових розмірів – градус (°), кутова хвилина (′), кутова секунда (″).

Вимірювальні прилади – засоби виміру, призначені для одержання значень вимірюваної величини у встановленому діапазоні.

Вимірювальна установка – сукупність функціонально об'єднаних заходів, вимірювальних приладів, перетворювачів і інших пристроїв, призначених для вимірів однієї або декількох фізичних величин, розташованих в одному місці.

Вимірювальна система – сукупність функціонально об'єднаних заходів, вимірювальних приладів, перетворювачів, ЕОМ і інших технічних засобів, розміщених у різних точках контрольованого об'єкта з метою виміру однієї або декількох фізичних величин, властивих цьому об'єкту.

Вимірювальний комплекс – сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірів, ЕОМ і допоміжних пристроїв, призначених для виконання конкретного вимірювального завдання.

Розрізняють кілька **видів вимірів**.

Прямий вимір – це вимір, при якому значення вимірюваної величини визначають безпосередньо по результату виміру, наприклад, вимір глибини лінійкою глибиноміра штангенциркуля ШЦЦ-1.

Непрямий вимір – це вимір, при якому шукане значення величини визначають перерахуванням результатів прямих вимірів величин, пов'язаних із шуканою величиною відомою залежністю.

Контактний вимір – це вимір, при якому сприймаючий пристрій засобу вимірів має механічний контакт із поверхнею об'єкта, наприклад, вимір за допомогою штангенциркуля, мікрометра, індикатора і т.д.

Безконтактний вимір – це вимір, при якому вимірювальний пристрій засобу вимірів не має механічного контакту з поверхнею вимірюваного об'єкта,

наприклад, вимір елементів різьблення за допомогою мікрометричного мікроскопа.

3.4 Прилади для візуально-оптичного та вимірювального контролю.

Для вимірювального контролю застосовують штангенметричні інструменти, мікрометричні інструменти, калібри, важільно-зубчасті інструменти, скоби та косинці.

Штангенінструменти – это засоби вимірів лінійних розмірів, основними частинами яких є штанга зі шкалою й ноніус, тобто допоміжна шкала для уточнення відліку показань. До них ставляться штангенциркулі, штангенглибиноміри, штангенрейсмаси. **Штангенциркулі** призначені для виміру зовнішніх і внутрішніх розмірів; **штангенглибиноміри** – для виміру виступів, глибин отворів і пазів; **штангенрейсмаси** – для виміру висот і розмічальних робіт.

Мікрометричні інструменти – засоби вимірів лінійних розмірів, засновані на використанні гвинтової пари, називаної микро- парою. Микропара служить розмірним і перетворювальним пристроєм у мікрометричних інструментах.

До інструментів даної групи відносять: мікрометри із ціною поділу 0,01 мм, важільні мікрометри, настільні мікрометри, глибиноміри мікрометричні й нутромери мікрометричні.

Мікрометричні глибиноміри застосовуються для вимірювання глибини вилучень і висоти уступів у деталях машин.

Мікрометричні нутромери вимірюють розміри отворів, ширину пазів і інші внутрішні лінійні розміри й відхилення форми деталей машин.

До **важільно-зубчастих інструментів** відносять головки вимірювальні, скоби з відліковим пристроєм, глибиноміри, нутроміри, товщиноміри, стінкоміри тощо.

Індикаторні нутроміри із ціною поділу 0,01 мм застосовують для виміру внутрішніх розмірів 6–100 мм.

Товщиноміри настільні (ТС) мають ціну поділу 0,01 мм і межі виміру 0–10 мм; **товщиноміри ручні** (ТР) мають ціну поділу 0,1 мм і межі виміру 0–50 мм.

Стінкоміри мають ціну поділу 0,01 мм (моделі 3-2 і 3-10А) і 0,1 мм (моделі 3-10Б, 3-50, СМТ-90).

Безшкальні вимірювальні інструменти призначені для контролю розмірів, форми й взаємного розташування частин виробу. До них відносять калібри, шаблони, щупи.

Калібр – це безшкальний вимірювальний інструмент для визначення придатності розмірів елементів деталей машин. Залежно від форми контрольованої поверхні калібри ділять: на гладкі – для контролю деталей гладких циліндричних з'єднань; різьбові – для контролю деталей нарізних сполучень; шлицевые – для контролю шлицевых з'єднань; конусні гладкі – для контролю конусних гладких з'єднань і спеціальні – для контролю деталей

нестандартних з'єднань і окремих деталей спеціальної форми.

Граничними гладкими калібрами контролюють придатність найбільшого й найменшого граничних розмірів елемента деталі. Такі калібри ділять на прохідний (ПР) і непрохідний (НЕ). Калібри для контролю отворів називають пробками. Прохідним калібром (пробкою ПР) контролюють в отворі придатність найменшого граничного розміру. Цей розмір придатний, якщо пробка ПР проходить крізь отвір.

Непрохідним калібром (пробкою НЕ) контролюють в отворі придатність найбільшого граничного розміру. Цей розмір придатний, якщо пробка НЕ не проходить в отвір. Якщо пробка ПР пройшла, а пробка НЕ не ввійшла в отвір, то прийнято вважати, що дійсний розмір отвору знаходиться в межах поля допуску ТД і цей отвір придатний.

Калібри для контролю валів називають **скобами**.

Прохідним калібром-скобою ПР контролюють придатність найбільшого граничного розміру вала. Цей розмір придатний, якщо скоба пройшла через нього. Непрохідним калібром-скобою НЕ контролюють придатність найменшого граничного розміру вала. Цей розмір придатний, якщо скоба НЕ не пройшла через нього. Якщо скоба ПР пройшла, а скоба НЕ не пройшла через вал, то прийнято вважати, що дійсний розмір вала перебуває в межах поля допуску й цей вал придатний.

При контролі калібрами не визначають числові значення контрольованих розмірів, а тільки встановлюють придатність або непридатність елемента деталі. Коли потрібно визначити числову величину дійсного розміру забракованої деталі, то її вимірюють універсальними засобами виміру. Це необхідно, щоб знайти причину шлюбу, а також розв'язати, чи можна виправити забраковану деталь.

Калібри-пробки вимірюють важільними мікрометрами, важільними скобами, важільно-зубчастими головками ИГ, микрокаторами, а також за допомогою оптиметрів або дліномеров. Калібри-скоби вимірюють на горизонтальних оптиметрах або горизонтальних дліномерах.

Радіусний шаблон – це інструмент для контролю профільних радіусів кривизни опуклих і ввігнутих поверхонь виробів.

Різьбовий шаблон – інструмент для визначення кроку й кута профілю різьблення виробів.

Для контролю конструкційних елементів форми й розмірів крайок, зазорів з'єднань, зібраних під зварювання, а також розмірів зварених швів застосовують спеціальні шаблони, що мають вирізи під певний шов, розмір якого зазначений на шаблону; а також універсальні шаблони зварювальщика (УШС-3); крім того, використовують граничні шаблони з найбільшими (прохідними) і найменшими (непрохідними) контрольними вирізами.

Для контролю зазорів між площинами застосовуються **щупи** – калібри, що мають вид мірної пластини певної товщини від 0,22 до 1 мм. Щупи довжиною 100 мм поставляються наборами; довжиною 200 мм – окремими пластинами.

Засобу виміру й контролю кутів. Вихідну точність виконання виробу

забезпечують кутові засоби, які відтворюють одиницю виміру кута в градусах.

Промисловість випускає набори кутових засобів у вигляді **кутових плиток** із градацією 2''; 1'; 1° і 15°. Набір складається з кутових плиток з номінальними кутами до 90°. Точність кутів кутових плиток відповідає одному із чотирьох класів точності – 00; 0; 1; 2. Наприклад, допуск кутів кутового заходу 1-го класу точності рівний +10'.

Кутові плитки виготовляють у вигляді пластин з вузькими вимірвальними поверхнями, обробленими доведенням і утворюючі гострий кут або кут зі зрізаною вершиною, або сторони чотирикутника.

Кутові плитки оснащені монтажними отворами для збирання в блоки за допомогою струбцин.

Крім кутових плиток застосовують правильні шестигранні засоби й багатогранні засоби з кутами більш 90°.

Для виміру відхилень від перпендикулярності, тобто від угла°, 90 широко застосовуються косинці.

Косинці – це тверді безшкальні засоби для контролю придатності прямого кута, що має як зовнішній, так і внутрішній робочі кути. Косинцями користуються для виміру відхилень від перпендикулярності поверхонь деталей у лінійних одиницях виміру, використовуючи оцінку «на просвіт» і по щупах.

Для виміру кутів в умовних одиницях застосовують **кутоміри з ноніусом** – універсальний і транспортний.

Для виміру невеликих відхилень від горизонтального або вертикального розташування поверхонь служать **рівні**: брускові, рамні й електронні.

Оптичний вид контролю регламентується стандартом ДЕРЖСТАНДАРТ 23479-79 «Контроль неруйнуючий. Методи оптичного виду. Загальні вимоги» [7]. Цей стандарт класифікує чутливість оптичного контролю по двом основним параметрам: кратність збільшення оптичних засобів і освітленість контрольованої поверхні. На небезпечних виробничих об'єктах застосовується кратність збільшення оптичних засобів не нижче 4× і освітленість контрольованої поверхні не менш 500 лк.

Оптичний вид контролю містить у собі 3 методи: зовнішній, перископічний і ендоскопічний метод.

Зовнішній метод дозволяє обстежити тільки легко доступні зовнішні поверхні об'єкта й широкі порожнини, у які оператор може проникнути із простими засобами оптичного контролю. Використовуючи його, не можна оглядати внутрішні поверхні вузьких вигнутих порожнин.

Оптична система – це сукупність оптичних деталей (лінз, призм, дзеркал і т.п.), призначена для певного формування пучків світлових променів.

До простих оптичних систем відносяться дзеркала, лінзи, окуляри, лупи. Більш складні системи зовнішнього оптичного контролю – телескопи й мікроскопи.

Одним з найбільш простих способів зовнішнього оптичного контролю важкодоступних поверхонь або поверхонь, нахилених менш 30° до зорової осі ока, є їхній огляд за допомогою дзеркал. Застосовують плоскі дзеркала й

сферичні.

Плоским дзеркалом називають оптичну деталь із плоскою поверхнею, що відбиває, призначену для зміни напрямку осі оптичної системи. Комбінація з таких дзеркал може забезпечити поворот зображення. Відбивна здатність дзеркала досягає 95 %.

Сферичним дзеркалом називають оптичну деталь, сферична поверхня якої є відбивною.

Лінза – оптична деталь, обмежена заломлюючими поверхнями, з яких хоча б одна є поверхнею обертання. По оптичних властивостях лінзи ділять на дві основні групи:

- 1) позитивні, тобто збірні;
- 2) негативні, тобто, що розсіюють.

Лінзи відрізняються одна від іншої відстанню центрів утворюючих їхніх сферичних поверхонь, радіусами й показниками переломлення речовини, з якого вони зроблені. Величина оптичної сили лінзи визначається фокусною відстанню, яка залежить від кривизни заломлюючих поверхонь, показника переломлення й товщини лінзи. Наприклад, двоопукла лінза з великою кривизною поверхонь має менша фокусна відстань і більшу оптичну силу, тому що оптична сила лінзи обернено пропорційна її задній фокусній відстані.

За одиницю виміру оптичної сили лінзи приймають оптичну силу такої лінзи, фокусна відстань якої рівно 1 м; така одиниця називається діоптрією. У промисловості діоптрія позначається «дптр».

Лінзи – это засоби корекції зору. Їх можна розділити на дві групи:

- 1) одноелементні (очкові й контактні лінзи, однолінзові лупи, діафрагми різних видів);
- 2) багатоелементні (багатолінзові лупи, телескопічні й проекційні системи).

Луна – це оптична система, що полягає з однієї або декількох лінз, яка призначена для спостереження предметів, розташованих на обмеженій відстані.

Промисловість випускає лупи загального призначення різних типів і конструкцій: складні, кишенькові, вимірювальні, вартові, лупи з руч- який і ін. Збільшення стандартних луп від $2,5\times$ до $25\times$. Вимірювальні лупи випускаються зі збільшенням $10\times$.

При контролі поверхонь більших розмірів спочатку слід використовувати лупу з невеликим збільшенням, виявляючи підозрілі місця, а потім досліджувати їхньою лупою з більшим збільшенням, оскільки вона має менше лінійне поле зору. Лупу потрібно тримати так, щоб її площина була паралельна поверхні контрольованого об'єкта і якнайближче до ока, тому що при цьому око сприймає найбільша кількість отра- женного від поверхні виробу світла.

При оптичному контролі далеко розташованих поверхонь широко використовуються **телескопічні системи**, які перетворюють паралельний пучок випромінювання, що надходить у їхню вхідну зіницю, у паралельний, більш вузький пучок випромінювання, що виходить через вихідну зіницю системи. Фокуси таких систем перебувають у нескінченності, а оптична сила дорівнює нулю. Такі системи називаються афокальними.

Складна телескопічна система, крім двох складових основних оптичних частин – позитивних об'єктива й окуляра (труба Кеплера) і позитивного об'єктива й негативного окуляра (труба Галілея), може мати інші оптичні деталі, наприклад, захисні стекла, сітки, призми, світлофільтри й т.п. Конструктивно ці деталі можуть бути віднесені як до об'єктивної, так і до окулярної частини.

Мікроскопи призначені для спостереження близько розташованих предметів. Робочі мікроскопи, використовувані в цехах, мають збільшення порядку $40\times$, поле зору близько 5 мм. Їх застосовують при контролі поверхонь із гальванічними покриттями, пофарбованих і полірованих поверхонь.

Мікроскопи вимірвальні використовуються в машинобудуванні для точних вимірів лінійних розмірів контрольованого об'єкта. Точність виміру лінійних розмірів становить від 0,01 до 0,001 мм; кутових – від 10 до 1'; межа виміру лінійних розмірів – 50-200 мм.

Мікроскопи металографічні використовуються для дослідження мікроструктури металів і інших непрозорих об'єктів. Працюють у відраженном світлі. Збільшення від $10\times$ до $1\ 350\times$, при фотографуванні від $45\times$ до $2\ 000\times$.

Перископічний метод дозволяє обстежити вузькі довгі пручимолинейные порожнини.

Перископи – это оглядові прилади, побудовані на базі световодной труби й лінзової оптики з механічним пристроєм.

Цим методом, приміром, в енергетику контролюють поверхня осьових каналів роторів парових турбін. Довжина световодной труби може досягати 6 м.

Ендоскопический метод дозволяє обстежити вузькі довгі скривлені порожнини.

Ендоскопи – це оглядові прилади, спочатку побудовані на базі волоконної й лінзової оптики з механічним пристроєм, але в цей час завдяки інтенсивному розвитку відеоелектроніки вони створюються на основі мікровідеокамер, портативних комп'ютерів, а передавальним зображення засобом є звичайний електричний кабель, довжина якого може досягати 40 м. При цьому орієнтація елемента, що ухвалює зображення, щодо осі кінця световода (кабелю) дистанційно управляється в оптоволоконних ендоскопах за допомогою тросика Боудена (подібно ручному гальму велосипеда), а в сучасних приладах – стрілками на клавіатурі комп'ютера

Ендоскопы застосовуються:

- у машинобудівних цехах для контролю циліндричних отворів, що перетинаються отворів, внутрішнього різьблення й на інших недоступних ділянках;
- в авіаційно-космічній промисловості для візуального контролю вузлів двигунів, систем живлення паливом, повітрям, систем керування й гальмування;
- в автомобільній промисловості для контролю виливків і головок, недоступних місць масляних систем, механічних і електричних конструкцій, при діагностуванні двигунів і т.п.;

- на електростанціях і атомних об'єктах для контролю лопаток турбін, генераторів, двигунів, насосів, при візуальному контролі бойлерних труб на крапкову корозію й інші дефекти, при контролі внутрішніх поверхонь атомних реакторів без розбирання;
- у хімічній і нафтохімічній промисловості при візуальному контролі випарних конструкцій, ректифікаційних блоків, камер хімічних реакцій, циліндрів, барабанів і інших типів устаткування.

У випадках, коли шкідливе випромінювання, температура або хімічне середовище становить небезпеку для контролю або коли конфігурація об'єкта контролю не дає можливості його контролювати безпосередньо, застосовують агрегатні комплекси дистанційного оптичного контролю, до складу яких входять телевізійна установка, світловий прилад і системи позиціонування й транспортування.

Інші оптичні й оптико-механічні прилади. Ці прилади мають оптичні й механічні елементи й застосовуються для виміру лінійних розмірів. Вони бувають контактні й безконтактні, проєкційні, інтерференційні, лазерні або засновані на інших фізичних принципах.

Найбільше поширення з них одержали оптиметри, дліномери й інтерферометри.

Оптиметри – это оптико-механічні прилади для виміру лінійних розмірів методом порівняння із заходом, засновані на використанні оптико-механічного важеля. Основні типи оптиметрів – вертикальний і горизонтальний. Оптиметри застосовують для виміру лінійних розмірів і відхилень форми особливо точних деталей машин і вимірювальних інструментів, а також для перевірки кінцевих заходів довжини 3, 4 і 5-го класів точності.

Довжиноміри – це оптичні вимірювальні прилади, що мають розмірний елемент – піноль зі шкалою високої точності, з якої зіставляється шуканий розмір об'єкта контролю. Завдяки цьому контактні виміри лінійних розмірів можна робити як методом порівняння із засобом, так і методом безпосередньої оцінки. Відлікові пристрої сучасних довжиномірів виготовляють на базі дифракційних ґрат, що дозволяє відраховувати результат з дискретністю 0,2 мкм (в оптиметра 1 мкм). Крім того, сучасні дліномери електрифіковані й оснащені мікроэвм, що дає можливість автоматизувати процес виміру й обробку його результатів.

Інтерферометри – це оптичні вимірювальні прилади, що використовують інтерференцію. При зміні розміру об'єкта контролю сприймаючий елемент приладу викликає в перетворюючому пристрої приладу відповідний зсув картини інтерференції на тлі безпосередньої шкали. По цій шкалі відлічуються показання інтерферометра. Найбільше доцільно використовувати інтерферометри для контролю й перевірки кінцевих заходів довжини 1, 2, 3-го класів точності, а також для контролю й перевірки дротиків, використовуваних при вимірі середнього діаметра різьблення.

Лазерний інтерферометр із мікропроцесором – це інтерферометр із оптичним квантовим генератором – лазером. Лазер зручний тим, що створює

вузькоспрямований когерентний пучок світла великої потужності. У порівнянні з контактним інтерферометром лазерний має більшу чутливість.

Лазерні інтерферометри в основному призначені для виміру лінійних або кутових переміщень, що відбуваються в агрегатах машин і в пристроях, від яких потрібна точність рухів у процесі роботи.

Питання для самоперевірки

1. Подати визначення терміну «візуально-оптичний неруйнівний контроль» і класифікацію видів контролю за характером взаємодії фізичних полів з об'єктом контролю, за первинним інформативним параметром і за способом отримання первинної інформації.
2. Описати фізичні основи оптичного неруйнівного контролю.
3. Описати види освітлення й опромінення в оптичному неруйнівному контролі.
4. Які вимоги висуваються до проведення візуально-оптичного контролю?
5. Скласти перелік засобів оптичного неруйнівного контролю.
6. Скласти перелік основних галузей застосування оптичного неруйнівного контролю.
7. Скласти перелік галузей застосування лазерних джерел світлі для оптичного неруйнівного контролю.