

Лабораторна робота №8

Контролю якості обробки поверхні за допомогою оптичних систем.

8.1 Мета роботи

Ознайомлення з методом оптичного контролю якості обробленої поверхні.

8.2 Основні теоретичні відомості

Візуальний контроль (огляд неозброєним оком) – простий і загальнодоступний вид неруйнівного контролю, що забезпечує високу продуктивність контролю оптичними методами. Головною особливістю його є активна роль оператора в його проведенні та отриманні достовірних результатів. Візуальний контроль проводиться без спеціальних засобів, що підсилюють природні якості людини-оператора. Він особливо ефективний при контролі об'єктів порівняно великих розмірів при необхідності виявлення грубих дефектів, відхилень форми, розмірів і оптичних характеристик. Найбільша чутливість і найменша стомлюваність людського ока відповідає довжині хвилі 0,56 мкм (жовто-зелений колір) і яскравості 10...100 кд/м², тому цій спектральній складовій повинна віддаватися перевага при роботі з випромінюваннями монохроматичного і змішаного складу. Чутливість зору від яскравості світла з фіксованим спектральним складом змінюється за логарифмічним законом. Це ускладнює правильну кількісну оцінку яскравості світла оператором. Разом з тим чутливість ока до відносного перепаду яскравості залишається постійною в діапазоні її змін до 10⁶ разів. Тому оператор може правильно оцінювати яскравості джерел однакового порядку. Поле зору при візуальному контролі визначається зором оператора і становить 125×150° (із зоною чіткого бачення 2°), що при мінімальному часу огляду 2...3 с і часу інерції зору приблизно 0,1 с дозволяє розрахувати продуктивність контролю конкретних виробів. Нормальне неозброєне око людини (емметричне) може змінювати свої характеристики в процесі спостереження так, що оператор може чітко бачити зображення з відстані найкращого зору рівного 250 мм і далі з кутковою роздільною здатністю близько 1'. Причому елементи зображення, що знаходяться на різній відстані від ока, видно різко, якщо вони лежать в зоні, названою глибиною різкості, яка складається з трьох складових: аккомодативної, геометричної і хвильової. Якщо око акомодоване на якусь середню відстань, від точки (елементи, деталі) об'єкта, що знаходяться в сполученій площині, зображатимуться на сітківці ока у вигляді точок, а розташовані ближче або далі – в вигляді кружків розсіювання. При невеликому їх розмірі (менше гостроти зору оператора) кружки розсіювання будуть сприйматися точковими і зображення буде здаватися різким. Відстань уздовж оптичної осі на площині, коли кутові розміри рівні гостроті зору, називають геометричною глибиною зору. Так як, світло являє собою електромагнітні коливання, то при малих розмірах елементів зображення (зазвичай з використанням збільшувальних засобів) проявляються хвильові властивості світла (інтерференція, дифракція), які також обмежують можливості контролю. Мінімальні розміри помітних деталей зображення конкретних контрольованих об'єктів (дефектів) визначаються гостротою зору оператора і залежать від умов контролю. При тривалій роботі око оператора втомлюється і гострота зору знижується, що вимагає обмеження часу безперервної роботи оператора, щоб уникнути помилок і пропусків дефектів. Гострота зору сильно знижується також зі зменшенням яскравості освітлення контрольованого об'єкта. За яскравості око впевнено розрізняє 10...15 градацій, а за кольором – до 200 відтінків, що робить візуальний контроль більш надійним, якщо дефект і фон (контрольований об'єкт) мають різний колір. В найкращих умовах контролю досвідчений оператор при різкій межі може виявити контраст 0,02. Візуальний контроль

проводиться відповідно до затверджених методик для конкретних напівфабрикатів і виробів в наступному порядку. Контрольований об'єкт попередньо готують: очищають від забруднень, консервуючих шарів, оксидів, для чого використовують протирання, промивання, піскоструменеву або хімічну обробку. Після цього поміщають контрольований об'єкт і апаратуру в необхідне положення, встановлюють рекомендовані режими контролю і освітлення, а потім проводять спостереження або вимірювання контрольованих факторів. Оптичний контроль якості серійної і масової продукції виконують шляхом їх порівняння з еталонами, вимірювальними засобами або з затвердженим контрольним зразком. Потім проводиться обробка результатів вимірювань. Взаємне положення контрольованого об'єкта і апаратури, а також режими освітлення (яскравість, спектральний склад, поляризація) вибираються так, щоб забезпечити максимально можливий контраст дефекту відносно фону. Контроль об'єктів з непрозорих матеріалів, вимірювання їх лінійних розмірів і характеристик поверхні здійснюється в відбитому або розсіяному світлі. Об'єкти з прозорих або напівпрозорих матеріалів контролюють зазвичай в світлі або іншому освітленні, що дає велику контрастність. При організації оптичного контролю перевагу слід віддавати пройденому або розсіяному освітленню, оскільки вони викликають менше стомлення зору. З цією ж метою необхідно захищати очі оператора від прямого попадання світлових променів шляхом установки захисних екранів, козирків, діафрагм. Для проведення контролю може використовуватися тільки загальне освітлення або в поєднанні з місцевим (комбіноване), причому загальне освітлення має становити не менше 10% від місцевого. Оскільки достовірність виявлення дефектів залежить від освітленості (рис. 8.1), вона повинна бути встановлена не менше певної величини відповідно до існуючих норм.

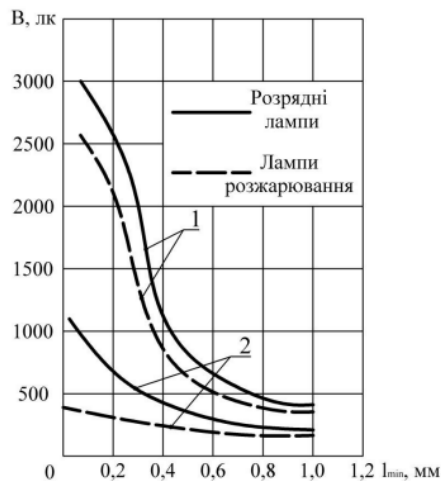


Рис.8.1 - Залежність середнього значення нормованої освітленості від розміру мінімального дефекту: 1 – комбіноване освітлення; 2 – загальне освітлення

Відстань від ока оператора до дефекту або площини, де починається відлік, має бути близькою до відстані найкращого зору (приблизно 250 мм). Загальним правилом є необхідність збільшення освітленості, якщо треба виявляти дефекти менші за розміром (рис. 8.1), для знаходження дефектів з малим контрастом ($СД < 0,2$), освітленість підвищують в 1,5...2 рази, а при контролі на темному фоні (збільшують на 20-35%). Важливою умовою є напрямок падіння світла, вплив якого показано на рис. 5.2 на прикладі виявлення дефекту у вигляді поверхневої тріщини. Рекомендується вибирати кут падіння світла $\theta = 0^\circ$ (рис. 8.2в), оскільки при малих кутах (напрямок світла по нормалі NN') невеликий контраст дефекту, а при великих кутах (напрямок світла близько до дотичної TT')

з'являється велика кількість помилкових затемнень, викликаних виступами і западинами від шорсткості зовнішньої поверхні. Найменший розмір виявлених дефектів l_{min} повинен перевищувати величину мікронерівностей рельєфу поверхні не менше ніж в 3 рази. Для дослідження об'єктів, що не світяться і при недостатності загального освітлення застосовуються спрямовані освітлювачі, що забезпечують контроль в прохідному (у випадку прозорих або напівпрозорих об'єктів) або відбитому світлі, в світлому або темному полі, від чого залежать роздільна здатність, контраст і якість зображення об'єкта.

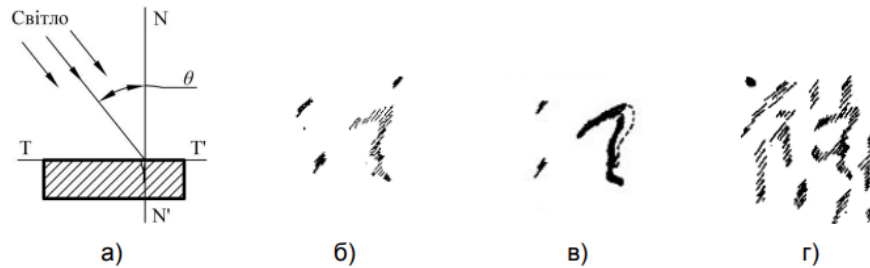


Рис.8.2 - Вибір напрямку освітлення при дефектоскопії: а – схема контролю; б – зображення при $\theta = 60^\circ$; в – при середніх значеннях $\theta = 0^\circ$; г – зображення при $\theta = 90^\circ$

Спостереження в світлому полі відбувається, якщо світло від контрольованого об'єкта (або через нього) безпосередньо потрапляє в об'єктив, створюючи зображення, причому елементи, які поглинають або погано відображають світло будуть виглядати темними на світлому фоні (позитивне зображення). При роботі в темному полі світло не потрапляє безпосередньо від освітлювача і контрольованого об'єкта в об'єктив або око оператора (косе освітлення), якщо об'єкт має високу якість поверхонь і не має інших дефектів, а зображення формується тільки окремими елементами або дефектами, на яких відбувається дифузне розсіювання світла. Сильно розсіюють світло ділянки контрольованого об'єкта при цьому виглядають більш світлими на темному фоні (негативні зображення). Для візуального контролю у важко доступних місцях використовують дзеркала, закріплені на ручках або штангах і змінюють напрямок ходу променів. Таким чином, мінімальний розмір дефекту, який надійно виявляється при візуальному контролі, залежить від характеру досліджуваного об'єкта (зокрема, чим грубіша його поверхня і структура, тим більше розмір дефекту, що можливо виявити), рівня яскравості і напрямку освітлення, контрасту між дефектом і фоном, тобто від перепаду яскравості, кольорів або відбиваючих здібностей, а також від якостей оператора (зору, досвіду). Вважають, що при візуальному контролі оператор з нормальним зором на відстані найкращого зору впевнено виявляє дефекти з мінімальним розміром 0,1 мм в площині, перпендикулярній лінії спостереження.

Візуально-оптичним називають контроль із застосуванням оптичних засобів, що дозволяють розширити межі природних можливостей органів зору людини. Він є технічним продовженням візуального контролю, дає можливість виявляти більш дрібні дефекти і проводити вимірювання з високою роздільною здатністю (1...5 мкм). При проведенні візуально-оптичного контролю треба враховувати особливості, характерні для візуального контролю, так як в обох випадках вирішальну роль відіграє оператор. Посилити можливості людини дозволяють лупи, мікроскопи, телескопічні пристрої та інші технічні засоби. Головним недоліком візуально-оптичного контролю є зниження продуктивності проведення неруйнівного контролю. Тому зазвичай проводять багатоступінчастий контроль: оглядають поверхню виробу без оптичних засобів, виявляючи великі дефекти і підозрілі

місця, вивчають ці місця через лупу, а потім досліджують окремі ділянки контрольованого виробу за допомогою багатолінзового мікроскопа, послідовно підвищуючи кратність його збільшення. При правильному виборі умов візуально-оптичного контролю розміри елементів об'єкта або мінімальних дефектів l_{\min} (мм) зменшуються відповідно до оптичного збільшення пристрою K_v :

$$l_{\min} = 0,1 / K_v.$$

Лупи призначені для оптичного контролю близько розташованих елементів зображення при невеликому збільшенні ($2 \dots 20 \times$) при ручному контролі. Зручність роботи з ними визначається тим, що їх легко переміщувати по КО, а зона огляду велика. Видиме збільшення оптичного пристрою – це відношення розміру зображення об'єкта на сітківці ока оператора під час спостереження його через оптичний пристрій до його зображення при спостереженні неозброєним оком з відстані найкращого зору. Якщо роздільна здатність оптичного пристрою і очей знаходяться в повній відповідності, то збільшення називається нормальним. Збільшення лупи можна визначити з виразу:

$$AV_n = Wf,$$

де V_n – відстань найкращого зору, якщо відомо її фокусна відстань f . Глибина різкості може бути оцінена за допомогою рівняння:

$$l_p \approx \frac{f}{K_1 K_{зб}} \left(1 - \frac{1}{K_{зб}} \right).$$

Отримати більшу глибину різкості можна шляхом діафрагмування ($l_p < 1$), що призводить до зменшення поля зору і корисного світлового потоку. Для луп і мікроскопів з великим збільшенням глибина різкості зменшується, проведення контролю з їх допомогою ускладнюється і вимагає більше часу для фокусування зображення (пошуку відстані найкращого зору). Лупи мають різне конструктивне виконання відповідно до варіантів їх застосування: оглядові – для контролю одночасно двома очима; налобні у вигляді збільшувальних окулярів; складні, в тому числі – кишенькові, телескопічні. Оптична частина лупи може складатися з однієї лінзи або декількох скріплених між собою, що дає можливість корегувати частину аберацій і отримати зображення необхідної якості. Лупи з малим збільшенням ($2 \dots 7 \times$) використовують для пошуку дефектів і дефектних зон, а з великим ($5 \dots 20 \times$) – для їх аналізу та виявлення дефектів мінімальних розмірів. Щоб максимально використовувати можливості лупи при проведенні візуально-оптичного контролю, її (крім великих біноклярних луп) треба тримати якомога ближче до ока, оскільки в цьому випадку сприймається найбільша кількість променів, що йдуть від контрольованого об'єкта, і знижується вплив відображень (відблисків) від сторонніх предметів і лінзи. Лупа розміщується, як правило, паралельно контрольованій поверхні, що підвищує продуктивність і достовірність візуальнооптичного контролю. Мікроскоп є оптичним багатолінзовим пристроєм для спостереження елементів, невидимих неозброєним оком та має регулювання оптичних властивостей. Він дає можливість отримати якісне збільшене зображення, причому збільшення може досягати 2000 разів, а лінійна роздільна здатність 0,5 мкм. Для неруйнівного контролю досить широко застосовують серійні мікроскопи (універсальні, вимірювальні, металографічні) і спеціалізовані для вирішення конкретних завдань. Мікроскопи дозволяють виконувати

візуальнооптичний контроль при різних режимах освітлення і збільшення, а також за різними методиками. Лінзові системи є апланатичними, тобто для них виконується умова синусів:

$$n_{ко} \sin \psi_{ко} = K_{зб} n_{из} \sin \psi_{из} ,$$

де $n_{ко}$ і $n_{из}$ – показники заломлення середовища в просторі предметів і в просторі зображень; $\psi_{ко} \sin$ та $\psi_{из} \sin$ – апертурні кути в просторі предметів і зображень. Зміна показника заломлення середовища перед об'єктивом (якщо виявлені деталі зображення знаходяться в рідині і об'єктив з нею контактує) призведе до пропорційного підвищення лінійного збільшення $K_{зб}$. Крім того, при цьому зміниться геометрична глибина різкості і роздільна здатність через зміну передньої фокусної відстані оптичної системи.

До складу типового мікроскопа входять: освітлювач, рухомий предметний столик і збільшувальна частина. Складні мікроскопи для вимірювальних цілей містять електронні системи цифрового відліку, а також ПЗС матриці для передачі і обробки зображення. Як правило, мікроскоп працює з джерелом штучного світла, що створює велику освітленість об'єкту, де контролюється необхідний спектральний склад і напрям світла (рис. 8.3).

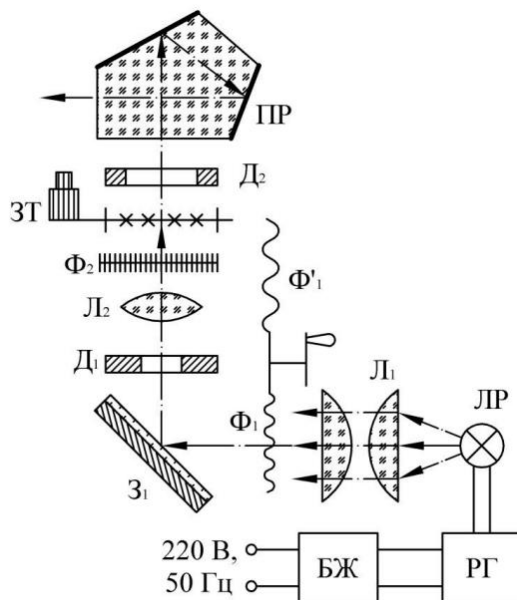


Рис.8.4 - Функціональна схема освітлювача

В освітлювачах застосовують проєкційні лампи розжарювання ЛР (рис. 8.4), що працюють при високій температурі нитки, що необхідно для отримання близького до білого світла і хорошого фокусування, потужністю 40...200 Вт. Напруга від блоку живлення БЖ лампи може змінюватися оператором за допомогою регулятора РГ (в найпростішому випадку – реостата). Світловий потік від лампи розжарювання ЛР через збираючий конденсор Л1 потрапляє на дзеркало З1, змінює напрям ходу променів, оскільки лампа ЛР повинна знаходитися за умовами охолодження в певному (вертикальному) положенні. Змінний світлофільтр Ф1 і діафрагма Д1, обмежують світловий потік з метою отримання його однорідності. Поляризатор Ф2 пропускає частину світлового потоку однієї поляризації. Затвор ЗТ дає можливість обмежувати проходження світла, що йде після лінзи Л2, за часом, наприклад під час фотографування або при великих перервах в проведенні контролю. Діафрагма Д2, (польова), дозволяє регулювати розміри освітлюваної ділянки на об'єкті.

Збільшувальна частина мікроскопа (рис. 8.5) призначена для отримання зображення, зручного для аналізу. Типовий варіант побудови збільшувальної системи мікроскопа зображений на рис. 8.5. Для розширення можливостей в збільшувальній частині мікроскопа є елементи, що змінюють світловий потік, а освітлювач може розташовуватися по-різному (ОС1 або ОС2).

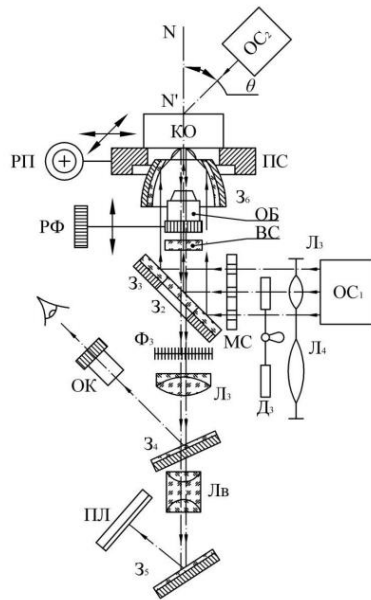


Рис.8.5 - Функціональна схема вимірювального мікроскопа

В схемі, показаній на рис. 8.5, світловий потік від освітлювача ОС1 формується рядом пристроїв, що забезпечують роботу в світлому і темному полях при освітленості об'єкта, змінюється в залежності від встановленого збільшення, щоб зображення, яке спостерігається оператором, мало приблизно однакову яскравість. Від освітлювача ОС1 світло падає на лінзу Л3 (робота в світлому полі) або Л4 (робота в темному полі) і через діафрагму Д3 і маску МС направляється на складні дзеркала 32 і 33). Дзеркало 32 виконано прозорим і відображає світловий потік, що пройшов крізь лінзу Л3 в лінзовий об'єктив ОБ, що освітлює ділянку контрольованого об'єкта КО. Через цей же об'єктив ОБ і дзеркало 34 промені світла після взаємодії з контрольованим об'єктом направляються для аналізу через фільтр Ф3 і лінзу Л6 до дзеркал 34 і 35. Таким чином проходить світловий потік при роботі в світлому полі, коли кут падіння променів світла ψ близький до нуля. При роботі в темному полі, коли полірована поверхня, яка має хороші відбиваючі властивості здається чорною, світловий потік через периферійну частину лінзи Л3 потрапляє на дзеркало 33 й далі на дзеркало 36, (що називається об'єктивом) бо виконане у вигляді круглого кільцеподібного металевого дзеркала з внутрішньою відбиваючою параболічної поверхнею, яке формує косо освітлення. Центральна частина світлового потоку в цьому варіанті освітлюється діафрагмою Д3, що перекривається, щоб не було прямого відбиття світла в об'єктив. Хід променів світла після взаємодії з контрольованим об'єктом в обох випадках однаковий. Промені світла, що несуть корисну інформацію у вигляді зображення ділянки контрольованого об'єкта КО, відбиті від дзеркала 34, через окуляр ОК спостерігаються оператором. Якщо прибрати дзеркало 34, то промені потрапляють в окуляр Лв, який після відображення їх від дзеркала 35 формує зображення на пластині ПЛ, яка може бути матовим екраном при роботі в проєкційному режимі або ПЗС матрицею. Вивчення зображення оператором через окуляр ОК відбувається при великій яскравості і чіткості зображення, а застосування проєкційного режиму, хоча і вимагає затінення екрану, але більш зручне і менш втомлює оператора.

Отримання чіткого зображення забезпечує його фокусування шляхом переміщення об'єктива ОБ в напрямку лінії візування (головної оптичної осі) за допомогою ручки фокусування РФ, пов'язаної з відліковим мікрометричним пристроєм відліку відстані. Безпосередньо в об'єктиві, окулярі або біля них встановлюється вимірювальна сітка ВС з позначками, ціна яких залежить від збільшення мікроскопа. Ця сітка забезпечує проведення відліку довжини в площині, перпендикулярній лінії візування, і може бути проградуїрована за стандартами або за допомогою мікрометричних відлікових пристроїв. Предметний столик ПС є базою, на якій розміщується контрольований об'єкт КО, для чого до нього надається набір аксесуарів: спеціальні затискачі, пружинні тримачі, додаткові кільця і насадки. Предметний столик дозволяє переміщати об'єкт КО в напрямках, перпендикулярних лінії візування, що здійснюється ручками відповідних координатних переміщень РП, пов'язаних з предметним столиком ПС відліковими мікрометричними пристроями. Освітлювальна частина мікроскопа ОС2 для роботи в пройдену освітленні може бути побудована аналогічно, якщо її розмістити над предметним столиком, однак найчастіше її виконують більш просто і компактно у вигляді лампи розжарювання об'єктива, фільтра і діафрагми, встановлених в загальний корпус. Такий освітлювач розміщується в необхідному положенні при оптимальному куті падіння світла

8.3 Підготовка до роботи

- 8.3.1 Ознайомитись з теоретичною інформацією;
- 8.3.2 Ознайомитись з кодом наданим в додатку 1;
- 8.3.3 Завантажити зображення відповідно до варіанту.

8.4 Виконання роботи

- 8.4.1 Завантажити в оперативну пам'ять комп'ютера задане зображення;
- 8.4.2 Застосувати код в додатку 1 до зображення;
- 8.4.3 Змінюючи значення порогу виявлення країв(maxThreshold) від 0.3 до 1.6 з кроком в 0.1 виявити загальну площу дефектів та їх кількість;
- 8.4.4 Данні виявлення відобразити в 2х графіках;
- 8.4.5 Зробити висновки.

8.5 Зміст звіту

- 8.5.1 Найменування і мета роботи.
- 8.5.2 Оригінальне зображення задане викладачем;
- 8.5.3 Зображення виявлених дефектів при мінімальному, середньому та максимальному значенні порогу.
- 8.5.4 Графік кількості виявлених дефектів відповідно до значення порогу.
- 8.5.5 Графік площі виявлених дефектів відповідно до значення порогу.
- 8.5.6 Висновки по роботі.

8.6 Контрольні запитання

- 8.6.1 Що таке контроль якості поверхонь і навіщо він потрібен у виробничих процесах?
- 8.6.2 Що таке градієнт зображення, і як він використовується для виявлення країв?
- 8.6.3 Що таке розмиття Гаусса, і чому воно використовується перед виявленням країв?
- 8.6.4 Які оптичні методи використовуються для аналізу поверхонь? Назвіть основні типи.
- 8.6.5 У чому переваги оптичних систем у порівнянні з механічними методами аналізу?
- 8.6.6 Які параметри оцінюють при контролі якості поверхонь (шорсткість, хвилястість тощо)?

```

% Завантаження зображення поверхні
surfaceImage = imread('photo_metal_1.jpg'); % Замініть на ваш файл
grayImage = rgb2gray(surfaceImage); % Перетворення в градації сірого

% Застосування Гаусового розмиття
sigma = 2; % Значення стандартного відхилення для розмиття
blurredImage = imgaussfilt(grayImage, sigma);

% Показати початкове зображення
figure;
imshow(grayImage);
title('Оригінальне зображення поверхні');

% Обчислення середнього значення яскравості
meanIntensity = mean(blurredImage(:)) / 255; % Нормалізоване середнє
maxThreshold = 0.3;
minThreshold = maxThreshold - 0.2;

% Встановлення порогів
lowerThreshold = meanIntensity * minThreshold; % Нижній поріг
upperThreshold = meanIntensity * maxThreshold; % Верхній поріг

% Використання у фільтрі Канні
edges = edge(blurredImage, 'Canny', [lowerThreshold, upperThreshold]);

% Морфологічна обробка для очищення зображення
% Розширення і заповнення дрібних проміжків
se = strel('disk', 2); % Структурний елемент
processedEdges = imdilate(edges, se); % Розширення
processedEdges = imfill(processedEdges, 'holes'); % Заповнення отворів
processedEdges = bwareaopen(processedEdges, 50); % Видалення дрібних об'єктів

% Накладання виявлених дефектів на оригінальне зображення
overlayImage = imoverlay(grayImage, processedEdges, [1 0 0]); % Червоний для дефектів

% Показати результат накладання
figure;
imshow(overlayImage);
title('Виявлені дефекти, накладені на зображення');

% Обчислення статистики дефектів
defectStats = regionprops(processedEdges, 'Area', 'BoundingBox', 'Centroid');
numDefects = numel(defectStats);
fprintf('Знайдено дефектів: %d\n', numDefects);

% Обчислення загальної площі всіх дефектів
if numDefects > 0
    totalArea = sum([defectStats.Area]);
    fprintf('Загальна площа дефектів: %.2f пікселів\n', totalArea);
else
    fprintf('Дефекти не знайдені.\n');
end

% Візуалізація дефектів на оригінальному зображенні
figure;
imshow(grayImage);
title('Оригінальне зображення з позначенням дефектів');

```



```

hold on;
for k = 1:numDefects
    rectangle('Position', defectStats(k).BoundingBox, 'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 1.5);
    text(defectStats(k).Centroid(1), defectStats(k).Centroid(2), ...
        sprintf('D%d', k), 'Color', 'y', 'FontSize', 8);
end
hold off;
for k = 1:numel(defectStats)
    rectangle('Position', defectStats(k).BoundingBox, 'EdgeColor', 'r', 'LineWidth', 1.5);
    text(defectStats(k).Centroid(1), defectStats(k).Centroid(2), ...
        sprintf('D%d', k), 'Color', 'y', 'FontSize', 8);
end
hold off;

% % Вхідні дані
% numImages = 5; % Кількість зображень
% numVariants = 20; % Кількість варіантів
%
% % Обчислення відповідності
% imageIndices = mod((1:numVariants) - 1, numImages) + 1;
%
% % Виведення результату
% disp('Відповідність варіантів до зображень:');
% for variant = 1:numVariants
%     fprintf('Варіант %d: Зображення %d\n', variant, imageIndices(variant));
% end

```