

М.Ф. Дмитриченко, д.т.н., проф.

Б.В. Шапошніков, к.т.н., проф.

А.О. Корпач, к.т.н., проф.

В.Г. Кошелев, ст. викл.

О.В. Мельник, асист.

Національний транспортний університет

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВИГОТОВЛЕННЯ АВТОТРАКТОРНИХ ДЕТАЛЕЙ ОПТИЧНИМИ ПРИЛАДАМИ

Проведено аналіз точності вимірювань, а також конструктивні особливості різних оптичних схем та приладів: мікроскопів, компараторів, оптиметрів, оптика торів, інтерферометрів, оптичних кутомірів, профілометрів, профілографів і рефлектометрів. Розглянута голографічна інтерферометрія в неруйнівному контролі та еліпсометрія. Визначена доцільність використання визначеного оптичного метода при виготовленні автотракторних деталей.

Ключові слова: оптична, голографічна, інтерферометрія, компаратори, еліпсометрія.

Постановка проблеми. В автомобілебудуванні застосовують найрізноманітніші прилади, які забезпечують спостереження, вимірювання, контроль, реєстрацію, керування та багато інших операцій. Серед них значне місце займають оптико-механічні прилади. Успішне та зростаюче використання оптичних приладів зв'язано з широким застосуванням об'єктивних приймачів випромінювання, лазерів, голографії, оптичної інтерферометрії, швидкісної кінозйомки.

Експлуатація оптичних приладів, які використовуються в автомобілебудуванні, їх вдосконалення, а також створення нових приладів можливі тільки при доброму вивченні основ фізичної та геометричної оптики, з сучасними конструкціями приладів. Лише при цих умовах вони можуть обґрунтувати технічні вимоги, які пред'являються до цих приладів [1–6].

Викладення основного матеріалу. Сучасний розвиток автомобілебудування з широким застосуванням автоматизації виробництва пред'являє підвищені вимоги до точності контрольних вимірювань, які знаходяться в прямій залежності від відповідного вибору приладу та методу вимірювання.

Методи і прилади вимірювання довжин та кутів

Більшість вимірювань, що застосовуються при контролюванні виробів, можна віднести до лінійних та кутових, які здійснюються на різних приладах: механічних, пневматичних, електричних та оптичних [5, 6].

При вимірюванні довжин на вимірювальних мікроскопах, компараторах та довгомірах суттєве значення має дотримання принципу компаратора (Аббе), яке полягає в тому, що осі об'єкта, який контролюється та зразкова шкала приладу повинні бути на одній прямій (складати продовження одна одної) або ж бути паралельними.

Вимірювальні мікроскопи. За конструкцією та призначенням усі мікроскопи можна поділити на дві групи. Мікроскопи першої групи мають відлікову шкалу, яка встановлена в полі зору окулярів, їх використовують для вимірювання об'єктів малих розмірів, зображення яких вкладаються в даному полі. До другої групи відносять мікроскопи, вимірювання на яких проводять переміщенням предметного столика з об'єктом при нерухомому положенні мікроскопа або переміщенням мікроскопа при нерухомому об'єкті на предметному столику. В тому та іншому випадках спостерігач наводить сітку окуляра на зображення вибраних відміток на об'єкті. За числом координат об'єкта, що вимірюється, мікроскопи другої групи можна розбити ще на три підгрупи: однокоординатні, двокоординатні (малі та великі інструментальні) та трикоординатні (універсальні).

Універсальність мікроскопів характеризується не тільки можливістю вимірювання об'єкта по трьом координатам, але і додатковими пристосуваннями, які дозволяють перевіряти різні за формою та розмірами вироби. Всі інструментальні та універсальні мікроскопи та однокоординатний мікроскоп мають тільки рухомі предметні столики.

Основні технічні характеристики приладів:

© М.Ф. Дмитренко, Б.В. Шапошніков, А.О. Корпач, В.Г. Кошелев, О.В. Мельник, 2014

в поздовжньому напрямку.....0-300

в поперечному напрямку.....0-200

межа вимірювання кутів, градуси.....0-360

ціна поділки:

відлікового пристрою, мм.....0,001
шкали кутомірної головки, хв.1'.

Інструментальні мікроскопи, малі та великі, призначені для вимірювання не тільки лінійних, але і куткових розмірів об'єктів в прямокутних та полярних координатах, а також для вимірювання профілів зовнішньої різі, кутів шаблонів, елементів зубчастих передач, конусів та інших. При контролюванні лінійних розмірів на великих інструментальних мікроскопах вимагається правильна установка об'єкта на круглому столі. Відлік за шкалами барабанів проводять з точністю 0,005 мм.

При вимірюванні куткових розмірів проводять центровку круглого столу шляхом суміщення центра його обертання з початком координат – точкою перетину хреста ниток окулярної кутомірної головки. Вершина кута, що вимірюється, повинна бути в центрі хреста ниток, зображення однієї зі сторін кута суміщають зі штриховою лінією сітки і відлік проводять за кутомірною шкалою стола мікроскопа. Потім суміщують іншу сторону кута виробу з цією ж штриховою лінією сітки і проводять другий відлік за шкалою стола. Різниця відліків складає величину кута, який вимірюється.

Компаратори призначені для порівняння і контролю лінійних розмірів зі зразковою шкалою. Розрізняють компаратори горизонтальні, стереоскопічні та інтерференційні. Останні мають найбільш високу точність, їх застосовують для абсолютних вимірювань кінцевих мір. Горизонтальний компаратор має два мікроскопи – візирний та відліковий. Перший слугує для установки об'єкта та наведення на вибрані відмітки, другий – для відліку за зразковою шкалою. Обидва мікроскопи закріплені на нерухомій траверсі, а переміщається предметний столик, який несе зразкову шкалу та об'єкт, який контролюється.

Технічні характеристики:

межа вимірювання, мм..... 0–200
ціна поділки зразкової шкали, мм.....1
ціна поділки відлікового пристрою, мм..... 0,001
точність відліку, мм.....0,0001.

Збільшення візирного мікроскопу 7–10,5[×] та відлікового – 61,5[×], поле зору відповідно 12 мм та 2,3 мм, числова апертура 0,05–0,04 і у відлікового 0,15 мм. Гранична похибка вимірювання $\pm \left(0,9 + \frac{L}{300 + 4h} \right)$ мкм, де L – довжина, яка вимірюється, мм; h – висота площини об'єкта, що вимірюється над площиною зразкової шкали.

Оптиметри. Оптиметри належать до групи приладів з важливо-оптичною передачею контактної дії з об'єктом, що контролюється. Вони призначені для визначення малих відхилень об'єкта, що перевіряється від кінцевої міри або від зразкової деталі методами порівняння (відносним методом).

Принцип дії оптиметрів засновано на отриманні автоколімаційного зображення від зразка, що коливається, який жорстко зв'язаний з вимірювальним стрижнем, що знаходиться в контакті з поверхнею об'єкта, який контролюється.

Зміщення вимірювального стрижня на величину h призводить до нахилу дзеркала, який вимірюється переміщенням H автоколімаційного зображення сітки відносно нерухомого індексу шкали. Передаточне відношення, яке створюється оптичним важелем, при переміщенні вимірювального стрижня, визначається за формулою:

$$k = \frac{H}{h}.$$

Значення переміщень H та h визначаються:

$$H = f' \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \quad \text{та} \quad h = a \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

де f' – фокусна відстань об'єктива автоколімаційної трубки оптиметра;

α – кут нахилу дзеркала;

a – відстань від осі обертання дзеркала до осі вимірювального стрижня.

За малим значенням кута α можна прийняти $\operatorname{tg} 2\alpha \approx 2\alpha$, тоді:

$$k = \frac{2f'}{a}.$$

Залежно від призначення і конструкції розрізняють оптиметри вертикальні та горизонтальні.

Вертикальні оптиметри призначені для вимірювання зовнішніх розмірів об'єктів, а горизонтальні – для зовнішніх та внутрішніх розмірів.

Вертикальний оптиметр має досконалу конструкцію та проєкційну оптичну систему, яка передає зображення відлікової шкали на екран.

Технічна характеристика оптиметра:

межа вимірювання, мм:
довжина виробу..... 180
діаметр..... 150

межі вимірювання за шкалою, мм.....±1

ціна поділки шкали, мм.....0,001.

Оптиметр складається із основи з вертикальною гвинтовою колонкою та ребристим столиком. По вертикальній колонці рухається вимірювальна головка з екраном та освітлювач.

Горизонтальні оптиметри призначені для контактних вимірювань зовнішніх та внутрішніх лінійних розмірів порівняльним методом.

Вони мають збільшений діапазон вимірювання зовнішніх довжин – від 0 до 500 мм та внутрішніх від 13,5 до 400 мм. Межа вимірювання внутрішніх діаметрів за допомогою дуги від 13,5 до 150 мм та за допомогою електроконтактної головки від 1 до 13,5 мм. Ціна поділки шкали 0,001 мм. До переваг слід віднести застосування пристрою для мікрометрового поздовжнього переміщення столика, можливість заміни трубки оптиметра на головку контактної інтерферометра та установки вимірювальних пристроїв екранного типу.

Ультраоптиметри. Ультраоптиметри є більш точними приладами в порівнянні з оптиметрами і призначені для високоточних вимірювань довжин методом порівняння (відносним) з кінцевими мірами або зразковими деталями та для атестації плоскопаралельних кінцевих мір.

Технічна характеристика ультраоптиметрів:

межі вимірювання за шкалою, мкм.....±25

ціна поділки шкали, мкм.....0,2

гранична похибка вимірювання, мкм..... $\pm \left(0,04 + \frac{z}{2000} \right)$

найбільша довжина об'єкта, мм.....250

Оптикатори, як і оптиметри, належать до групи приладів з важільно-оптичною передачею. Вони призначені для вимірювання різниці між виробами, які контролюються, та зразковими виробами. Принцип дії оптикатора заснований на пружних властивостях закрученої пружної стрічки, яка обертається відносно своєї поздовжньої осі. При переміщенні вимірювального стрижня пружина вигинається і приводить до обертання закручену пружину та разом з нею дзеркало, яке направляє зображення індексу на шкалу. Зміщення індексу по шкалі пропорційне переміщенню вимірювального стрижня. Передаточне відношення визначається:

$$k = \frac{s'}{s} = 2Q \frac{r_1 r_2}{r_3},$$

де s' – довжина дуги зміщення індексу за відліковою шкалою;

s – величина переміщення вимірювального стрижня, мм;

Q – коефіцієнт пропорційності;

r_1 – відстань від дзеркала до шкали, мм;

r_2 – довжина пружини, мм;

r_3 – відстань від осі вимірювального стрижня до пружини, мм.

Два світлофільтри (зелений та червоний) слугують як обмежувачі поля допусків за відліковою шкалою. Поява червоної плями вказує, що розмір деталі, яка перевіряється, менше граничного, а поява зеленої плями – на розмір більше граничного.

Інтерферометри належать до групи оптичних приладів, які забезпечують найбільш високу точність вимірювання. Вони призначені для контролю робочих кінцевих мір з кінцевими мірами вищого розряду та різних виробів методом порівняння зі зразковими деталями. Існуючі інтерферометри поділяють на контактні і безконтактні. Безконтактні інтерферометри дозволяють проводити вимірювання абсолютним та відносним (порівняльним) методом, контактні – тільки відносним методом.

Так на безконтактному інтерферометрі типу інтерференційного компаратора Кестерса при абсолютному методі вимірювання довжина кінцевої міри може бути виражена безпосередньо в довжинах хвиль.

Контактні інтерферометри – вертикальний та горизонтальний призначені також для контролю кінцевих мір та виробів відносним методом.

В контактних інтерферометрах основним вузлом є трубка з оптичною схемою двопроменевого інтерферометра Майкельсона. Різниця між вертикальним та горизонтальним інтерферометрами полягає в розміщенні на них оптичної трубки та предметного столика.

У вертикального інтерферометра трубка переміщається на кронштейні по вертикальній стійці і наконечник вимірювального стрижня при відсутності об'єкта, що контролюється, може бути приведена в контакт з поверхнею предметного столика, який знаходиться в постійному положенні на литій основі.

У горизонтального інтерферометра на станині, що розташована горизонтально, переміщаються оптична трубка і піноль, які закріплені в бабках та предметний столик.

Технічні характеристики оптичної трубки інтерферометрів:

збільшення, \times37,5

границі вимірювання, мм:	
вертикальний.....	150
горизонтальний.....	500
число поділок шкали.....	100(±50)
ціна поділок шкали, мкм.....	0,2–0,05
границі вимірювання за шкалою, мм.....	0,02–0,005
границі вимірювання горизонтального стрижня, мм.....	0,5.

Вимірювання розмірів виробів на приладі проводять в білому світлі (за винятком інтерференційного світлофільтра). В полі зору окуляра спостерігаються розфарбовані інтерференційні смуги зі спадною інтенсивністю та розташовані симетрично відносно центральної чорної смуги. Чорна ахроматична смуга слугує рухомим індексом вимірювального стрижня по відношенню нерухомої шкали.

При контролюванні виробів методом порівняння з кінцевою мірою або зразковою деталлю чорну смугу встановлюють серединою на нульовий штрих шкали. Замінив кінцеву міру або зразкову деталь виробом, що контролюється, визначають різницю довжин по зміщенню чорної смуги за шкалою.

Похибка вимірювання визначається за формулою (мкм):

$$\delta = \pm \left(0,03 + 1,5n\tau \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right),$$

де $\Delta\lambda$ – похибка вимірювання довжини хвилі світла λ (береться із паспорта).

n – кількість поділок шкали;

τ – поділка шкали.

Оптичні прилади для вимірювання кутів широко застосовують в автомобілебудуванні. Вони різноманітні за конструкцією, призначенням та точністю. До оптичних кутомірних приладів відносять кутоміри оптичні, оптичні ділильні головки, квадранти оптичні, гоніометри, автоколіматори, а також прилади перевірки співвісності та паралельності осей.

Кутоміри оптичні призначені для вимірювання контактним методом кутів від 0 до 180° між двома площинами або між площиною і твірною циліндра або конуса. Всередині круглого корпусу кожного кутоміра є скляний лімба з ціною поділки лімба 5' з оцифровкою від 0 до 90° через 2°. Оптичний кутомір має дві лінійки, одна постійно з'єднана з корпусом і лімбом, а інша змінна (мала лінійка довжиною 150 мм та велика 300 мм) і може бути повернута на будь-який кут по відношенню до нерухомої. Обертальна лінійка з'єднана зі скляною пластинкою з індексом, який слугує для зняття відліку по лімбу за допомогою лупи зі збільшенням 16^x.

Оптичні ділильні головки призначені для повороту виробу, що закріплений на шпинделі, на необхідний кут, або для кутового поділу його на задане число частин по колу, а також для контролю кутових розмірів.

Основними частинами оптичної ділильної головки є циліндричний корпус зі шпинделем, який жорстко зв'язаний зі скляним лімбом, освітлювальна частина та відліковий мікроскоп, а також додаткову проєкційну систему.

Оптичні ділильні головки, що випускаються промисловістю, розрізняються між собою, головним чином, ціною поділок відлікових пристроїв.

Загальними характеристиками для всіх приладів є: ціна поділок лімба 1°, межа повороту осі шпинделя у вертикальній площині 90°, межа вимірювання 360°, висота центрів 130 мм.

Ціна поділок відлікового пристрою складає від 1' до 2".

Інтерференційний метод вимірювання малих кутів до 2' може бути здійснений на інтерференційному компараторі. Для цього клин, що перевіряється, притирають до поверхні пластинки столика інтерферометра і в полі зору спостерігають картину інтерференційних смуг від кожної поверхні клина, який вимірюється. При цьому добиваються, щоб смуги від обох поверхонь були рівні за шириною та чіткістю. Далі підраховують число смуг N_1 та N_2 на ділянках l_1 та l_2 , які вимірюють окулярним мікрометром.

Кут клина α , в секундах:

$$\alpha = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{N_1}{l_1} \pm \frac{N_2}{l_2} \right) \cdot 206265,$$

де λ – довжина хвилі світла, мкм.

Знак плюс в скобках береться при різносторонньому русі смуг та мінус – при односторонньому русі в момент зміни положення референтного дзеркала від легкого натискання на тубус інтерферометра. Гранична похибка вимірювання кута – 0,3".

Інтерференційний компаратор може бути використаний і для вимірювання великих кутів, наприклад, при калібруванні багатогранних призм шляхом порівняння зі зразковим багатогранником. В цьому випадку обидва багатогранника притирають по одній із сторін до скляної пластинки и розміщують на столик гоніометра навпроти робочої гілки інтерферометра. Застосування гоніометра дозволяє встановити

площину двогранного кута строго в перпендикулярне положення і повернути на необхідний кут. Кут відхилення поверхні, що перевіряється, від порівняльної поверхні зразкового багатогранника визначається також підрахунком смуг і далі знаходиться за формулою. Для контролювання великих кутів призм застосовують скляні кутовики з каліброваними кутами, що складаються із пробного скла та допоміжної призми, яка посаджена на оптичний контакт. При контролюванні призму, що контролюється, приставляють впритул до граней кутника та підраховують число смуг N , які утворюються в інтервалі l між поверхнями призми, що контролюється, та кутника.

Кут відхилення від каліброваного кута кутника визначають:

$$\alpha'' = \frac{\lambda N}{2l} \cdot 206265.$$

Мікроінтерферометри призначені для візуальної оцінки висоти нерівностей поверхонь та для фотографування нерівностей в межах 1–0,03 мкм, які відповідають 10–14-му класу чистоти поверхні. Інтерференційні смуги повинні бути орієнтовані перпендикулярно напрямку подряпин, які спостерігаються одночасно з картиною інтерференційних смуг. При оцінці на око визначається доля інтервалу між смугами або кількість інтервалів, на яке вигинається смуга в області впадини.

Висоту нерівностей при роботі з білим світлом визначають за формулою:

$$H = 0,27 \Delta N,$$

де H – висота нерівності;

0,27 – половина довжини хвилі світла, мкм;

ΔN – величина вигину смуги в долях інтервалу.

При роботі з монохроматичним світлом:

$$H = \frac{\lambda}{2} \Delta N,$$

де λ – довжина хвилі світла, яка взята з паспорта.

При вимірюванні нерівностей гвинтовим окулярним мікрометром одну нитку перехрестя суміщають з направленням інтерференційних смуг, а іншу нитку – з направленням подряпин на поверхні, що контролюється. Шляхом наведення нитки на середину двох сусідніх смуг та через декілька темних смуг визначають величину інтервалу. Потім наводять нитку на середину темної смуги в місцях її вершини та западини, вимірюючи тим самим вигин смуги, величина якої визначається:

$$\Delta N = \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2} n,$$

де $A_1 - A_2$ – різниця відліків, що складає величину інтервалу;

$A_3 - A_4$ – величина вигину смуги;

n – кількість інтервалів між декількома смугами.

Висота нерівностей H при білому світлі визначають, мкм:

$$H = 0,27 \frac{A_3 - A_4}{A_1 - A_2} n.$$

Оптичний профілометр представляє з'єднання двопробеневого мікроінтерферометра та подвійного мікроскопу і призначений для вимірювання шорсткості з 3 по 8-й клас чистоти.

Висоту нерівності поверхні при роботі приладу за принципом подвійного мікроскопа визначають:

$$H = \frac{hf_2'}{2f_1' \sin \varphi},$$

де h – величина викривлення нерівності, як виміряна окулярним мікрометром;

f_2' та f_1' – фокусні відстані об'єктивів, мм;

φ – кут падіння пучка променів на дзеркало, рівний 70° .

При роботі приладу за принципом мікроінтерферометра висота нерівності визначається:

$$H = bK,$$

де b – величина вигину смуги, яка виражається в долях інтервалу смуги;

$$K = \frac{\lambda}{2 \cos \varphi} - \text{ціна поділки інтерференційної смуги.}$$

Профілографи призначені для фотографічного запису у збільшеному масштабі, а також для візуального спостереження та вимірювань шорсткості поверхні. Принцип дії профілографів заснований на контакті щупової голки з поверхнею, що досліджується, та відтворення нею профілю нерівності в збільшеному масштабі за допомогою оптико-важільної системи.

Лінійне збільшення зображення щілини визначають:

$$\beta = 2n \frac{f'}{l},$$

де n – число відображень дзеркала;

f' – фокусна відстань об'єктива, мм;

l – довжина плеча важеля від осі голки, мм.

Рефлексометр. Оптичний метод контролю шорсткості поверхні оптичних та металевих виробів за допомогою рефлексометра є інтегральним і заснований на отриманні максимального відбитого світлового потоку, отриманого при кутах падіння світла більше 80° .

Гоніометрична установка призначена для контролю шорсткості граней призми, які виготовляються на координатно-розточувальних верстатах алмазними або твердосплавними різцями, з чистотою поверхні 8–11-го класу.

Оцінку якості поверхні проводять за допомогою відносного коефіцієнта дзеркального відбиття:

$$\rho_{\text{від}} = \frac{\rho_m}{\rho_{\text{скл}}},$$

де ρ_m – коефіцієнт відбиття грані призми;

$\rho_{\text{скл}}$ – коефіцієнт відображення скляної поверхні, яка прийнята за зразкову.

Точність визначення шорсткості поверхні знаходиться в межах ± 13 – 15 %.

Для дослідження шорсткості шліфованих металевих поверхонь, оброблених до 7–8-го класу чистоти, запропоновано рефлексометр, який працює за схемою пучка променів, що збігаються на площі від 0,1 до 0,5 см². Принцип дії приладу заснований на фотоелектричному вимірюванні інтенсивності дифракційного максимуму, який відбивається від поверхні, що досліджується. Оцінку якості поверхні проводять порівнянням з еталоном з чорного полірованого скла, коефіцієнт відбиття якого визначають за формулою Френеля.

Лазерна голографічна інтерферометрія в неруйнівному контролі. Суттєвим досягненням лазерної голографії є розробка методів голографічної інтерферометрії, в основі якої лежить властивість голограм точно відтворювати записані на них хвильові поля. При освітленні відновленої голограмою об'єктної хвилі з хвильовим полем випромінювання, безпосередньо розсіяного об'єктом, стає можливим спостерігати картину інтерференції цих хвиль. Якщо хвильове поле зазнає змін у порівнянні з записаним на голограмі, то на тривимірному зображенні об'єкта з'являються інтерференційні смуги, які відповідають цим змінам. Цей метод отримав назву голографічної інтерферометрії в реальному масштабі часу.

Можливість спостереження на тривимірному зображенні об'єкта інтерференційної картини, яка обумовлена малими змінами, відкриває широкі перспективи використання голограм в задачах неруйнівного контролю. Найбільш розповсюдженим із голографічних методів, які застосовуються з даною метою, заснований на тому, що при навантаженні об'єкта області, які містять дефекти, мають деформації, що відрізняються від деформацій останніх його частин. Ця відмінність проявляється у вигляді характерних згинів або концентрацій інтерференційних смуг, які спостерігаються на фоні регулярної інтерференційної картини, що обумовлена загальною зміною форми об'єкта. Даний метод в теперішній час знаходить застосування для якісної оцінки локальних дефектів різноманітних виробів, оскільки дозволяє шляхом візуального спостереження зображення об'єкта досить легко та швидко виявити наявність дефектів на поверхні та всередині об'єкта, наприклад, автомобільних шин при роботі конвеєра, а також визначити їх розташування.

Кількісний аналіз регулярної інтерференційної картини також представляє значний інтерес, так як дає можливість при відомому розташуванні навантажуючих зусиль визначити фізико-механічні параметри матеріалів, з яких виготовлені об'єкти, а також характер внутрішніх напруг. При вивченні коливальних об'єктів розподіл смуг на поверхні об'єкта дозволяє визначити його резонансні частоти і розподіл амплітуд коливань.

Принциповими перевагами голографічних методів неруйнівного контролю в порівнянні з іншими методами є практично повна відсутність вимог до поверхні об'єкта і до фізичних властивостей матеріалу, з якого він виготовлений, а також можливість одночасного контролю значних (більше одного квадратного метра) площ поверхні об'єкта, що контролюється.

Еліпсометричний метод контролю. Застосування еліпсометрії як метода аналізу зміни поляризації світла внаслідок його взаємодії з об'єктом, що досліджується, досить різноманітне. За її допомогою можна визначити товщини тонких плівок та їх показники заломлення, непаралельність фазових пластин, вивчати оптичні та фізичні властивості визначеного класу матеріалів та металевих покриттів.

Зростання інтересу до поляризаційних методів дослідження висуває підвищені вимоги до їх точності, швидкодії та наочності відображення інформації. В останні часи перевага надається розробці автоматичних систем, які забезпечують велику відчутність вимірювань завдяки застосуванню різної модуляційної техніки, наприклад комірок Фарадея та Керра, які дозволяють додатково обертати

площину поляризації на декілька градусів. При цьому параметри еліпса поляризації спостерігаються безпосередньо на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) або записуються на стрічку самописця або магнітну плівку для подальшої обробки. Сучасні ручні та автоматичні еліпсометри засновані на класичних принципах дослідження поляризації світла.

Використання як джерел світла лазерів, які працюють в широкому діапазоні довжин волн та забезпечують високу спектральну щільність поляризованого випромінювання, значно розширило можливості еліпсометрії та насамперед покращило чутливість та швидкість еліпсометрів. Працювати з поляризованим світлом значно вигідно, ніж з природнім, експеримент при цьому виявляється більш досконалим, а математична обробка результатів простіше.

Зміни, що виникають в стані поляризації світла, залежать як від об'ємних властивостей середовища, так і від властивостей та структури поверхневих шарів. Ці властивості можна визначити за результатами аналізу зміни поляризації відбитого або пройденого крізь об'єкт, що досліджується, світла.

Висновок. Проведений аналіз точності вимірювань розмірів автотракторних деталей різними оптичними способами і приладами, а також дослідження якості виготовлення деталей методами неруйнівного контролю, дозволяє розробникам технологічних процесів і технологічних ліній вибрати найбільш оптимальний безконтактний варіант, що дозволяє виготовляти продукцію у відповідності до технічних умов, а також робочих креслень.

Список використаної літератури:

1. Оптические приборы в машиностроении: справочник / *М.И. Апенко, И.Г. Араев, В.А. Афанасьев и др.* – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
2. *Крылов К.И.* Применение лазеров в машиностроении и приборостроении / *К.И. Крылов В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов.* – Л. : Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1978. – 336 с.
3. *Кирилловский В.К.* Оптические измерения. Инновационные направления в оптических измерениях и исследованиях оптических систем / *В.К. Кирилловский., Ле Зуи Туан.* – СПб. : ГУ ИТМО. 2008. – 131 с.
4. Оптический производственный контроль ; под ред. *Д.Малакары.* – М. : Машиностроение, 1985.
5. *Голубовский Ю.М.* Фотолэктрические методы контроля линейных и угловых величин ; под ред. *Ю.В. Коломийцова.* – Л. : ОНТИ, ГОИ, 1970.
6. *Зимин Н.И.* Средства измерения длин и углов в машиностроении / *Н.И. Зимин, А.В. Эрвайс.* – М. : НИИМАШ, 1971.

ДМИТРИЧЕНКО Микола Федорович – професор, доктор технічних наук, завідуючий кафедрою «Виробництво, ремонт та матеріалознавство» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- триботехнічні системи;
- фізико хімічні основи виробництва металів.

ШАПОШНИКОВ Борис Вікторович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

КОРПАЧ Анатолій Олександрович – кандидат технічних наук, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

E-mail: korpach@mail.ru.

КОШЕЛЄВ Володимир Григорович – старший викладач кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- зварювання тиском.

МЕЛЬНИК Ольга Вікторівна – асистент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство» Національного транспортного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування.

Тел.: (044)28020-77, 280-98-05.

