

О.А. Веремейчик, аспір.
Житомирський інженерно-технологічний інститут

ВИКОРИСТАННЯ РІДИННОГО ДЗЕРКАЛА ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ

(Представлено к.т.н., доц. Мельничуком П.П.)

На основі аналізу методів дослідження плоских поверхонь деталей машин після механічної обробки з використанням оптичних приладів запропоновано використати в якості зразкової поверхню рідинного дзеркала. Вказані особливості її використання з врахуванням випуклості рідинної поверхні в полі сил тяжіння Землі.

При дослідженні площинності плоских поверхонь деталей після механічної обробки в машинобудуванні широко застосовуються різноманітні оптичні методи вимірювання її параметрів.

Найбільш поширеним є метод пробного скла [1]. Суть методу полягає у використанні інтерференційних явищ, що виникають в тонкому повітряному шарі між еталонною та контрольованою поверхнями. Пробне скло являє собою скляну пластину з точно обробленою поверхнею, яка накладається на поверхню, що контролюється. Якщо контрольована поверхня ідеальна, то в результаті інтерференції світла в тонкому повітряному шарі між нею і робочою поверхнею пробного скла спостерігається рівномірна освітленість. Якщо ж на поверхні є виступ або западина, то при цьому спостерігаються кільця Ньютона. Висоту h виступу (чи глибину западини) визначають за числом кілець N і довжиною хвилі світла λ . Наприклад, для білого світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,55$ мкм

$$h = N \cdot \lambda / 2 = 0,275N. \quad (1)$$

Для того, щоб відрізнити виступ від западини, злегка надавлюють на пробне скло, якщо кільця Ньютона, що виникають в результаті інтерференції, стягуються до центра, то це вказує на наявність западини, а якщо розходяться від центра, – на наявність виступу.

Головна перевага контролю поверхонь з допомогою методу пробного скла полягає в його простоті, а також у можливості використання безпосередньо на робочому місці.

Проте цей метод має і суттєві недоліки: він вимагає ретельної очистки поверхні контрольованої деталі та вирівнювання температури деталі і пробного скла, що забирає багато часу; при накладенні пробного скла можливе пошкодження поверхні деталі, якщо вона виготовлена з м'якого матеріалу; точність методу в деяких випадках недостатня; розміри досліджуваних поверхонь обмежуються розмірами пробного скла.

Тому поряд з методом пробного скла застосовуються різноманітні інтерферометричні методи, які дозволяють контролювати поверхні безконтактним методом [2].

Так, в інтерферометрі Майкельсона [3] (рис. 1) промінь лазера 1 проходить через колімаційну систему, що складається з вхідного 2 та вихідного 4 об'єктивів. У фокусі вхідного об'єктива (котрий суміщений з фокусом вихідного) розміщена фільтруюча діафрагма 3. Світова хвиля ділиться напівпрозорим елементом 6. Відбиті контрольованою поверхнею 10 і дзеркалом порівняння 5 хвилі направляються на лінзу системи фільтрації 7, в фокальній площині якої розміщена фільтруюча діафрагма 8. Інтерферограма спостерігається на екрані 9.

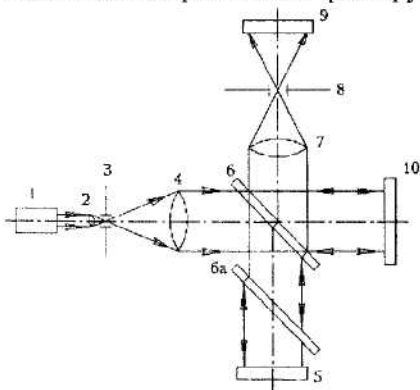


Рис. 1

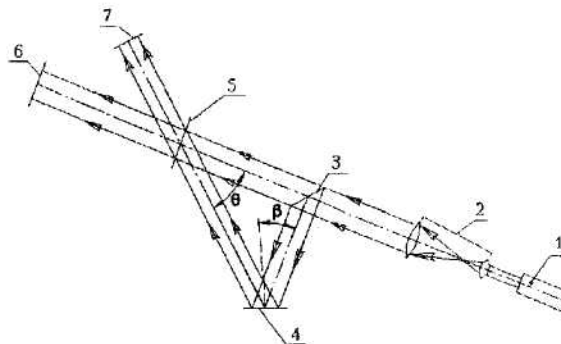


Рис. 2

В голографічних інтерферометрах [1] (рис. 2) вузький пучок променів, що виходять із лазера 1, розширюються телескопічною системою 2 і розділяється напівпрозорою пластиною 3 на два пучки. Перший (опорний) пучок проходить через пластину 3 і падає на фотопластинку 5. Другий (робочий) пучок відбивається від напівпрозорої поверхні пластини 3 і падає під кутом β на зразкове дзеркало 4, після відбиття від поверхні якого також попадає на фотопластинку 5. В результаті інтерференції хвиль на фотопластинці спостерігаються вузькі смуги, кривизна котрих визначається формою хвилі. Якщо обидві хвилі плоскі, то полоси мають вигляд прямих ліній. Після проявлення та фіксації фотопластинки на ній записана інформація про форму хвилі, що йде від зразкового дзеркала, тобто ця пластинка представляє собою голограму. Голограма встановлюється в положення 5, яке раніше займала фотопластинка.

При виконанні досліджень плоских поверхонь на місце зразкового дзеркала 4 монтують досліджуваній об'єкт. При цьому форма хвилі, що йде від об'єкта, буде відрізнятися від форми дифракційної хвилі, що утворюється при проходженні через голограму. Це приведе до викривлення смуг на екрані 7. За величиною викривлення смуг визначається, наскільки параметри поверхні досліджуваного об'єкта відрізняються від параметрів поверхні зразкового дзеркала.

Проведений аналіз особливостей технологій дослідження площинності поверхонь показує, що точність результатів визначається точністю виготовлення зразкового дзеркала. Але, якими б досконалими не були технології, виготовити ідеальні зразкові дзеркала неможливо. В першу чергу це стосується дзеркал для контролю великих поверхонь.

Тому за зразкову плоску поверхню доцільно використати вільну поверхню рідини, що знаходиться в стані спокою в полі сил тяжіння Землі.

Земля має форму геоїда сплющеного еліпсоїда обертання (рис. 3, а), який описується рівнянням:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1, \tag{2}$$

де a, b, c – півосі, причому $a = b > c$.

Меридіональний переріз еліпсоїда, утворений площиною YOZ, має форму еліпса [4] (рис. 3, б), який описується рівнянням:

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1. \tag{3}$$

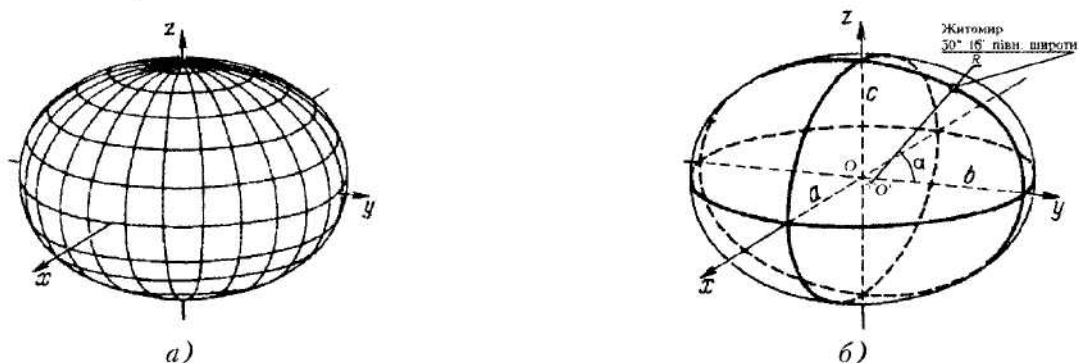


Рис. 3

Перпендикуляр до поверхні Землі в довільній точці А (y_0, z_0) визначається рівнянням:

$$z - z_0 = -\frac{1}{f'(y_0)}(y - y_0), \tag{4}$$

де $f'(y_0)$ – похідна кривої еліпса в довільній точці А (y_0, z_0) , а $\frac{1}{f'(y_0)}$ – кутовий коефіцієнт нормалі до еліпса в точці А.

Розв'язуємо систему рівнянь (3) і (4) і отримуємо координати точки А, яка знаходиться на поверхні Землі і є точкою перетину нормалі в площині YOZ, що визначається кутом α , і еліпса меридіонального перерізу.

Радіус кривизни еліпса, який проходить через точку А (x_0, y_0),

$$R = b^2 \cdot c^2 \cdot \left(\frac{y_0^2}{b^4} + \frac{z_0^2}{c^4} \right)^{3/2} \quad (5)$$

Точка, де знаходиться науково-дослідна лабораторія Житомирського інженерно-технологічного інституту, в ортогональній системі координат з початком у центрі Землі має координати $y_0 = 4111204$ м., $z_0 = 4860016$ м. Радіус кривизни еліпса меридіонального перерізу Землі, що проходить через вказану точку, а значить і поверхні рідинного дзеркала, $R = 6372936$ м.

Очевидно, що поверхня рідинного дзеркала в природному стані не є зразковою площиною, але значення її геометричних параметрів є стабільними. Тому в результаті інтерферометричних вимірювань з використанням рідинного дзеркала необхідно вносити поправки h на випуклість поверхні рідини, які будуть визначатись базою $2r$ поверхні, що прийнята за зразкову (рис. 4).

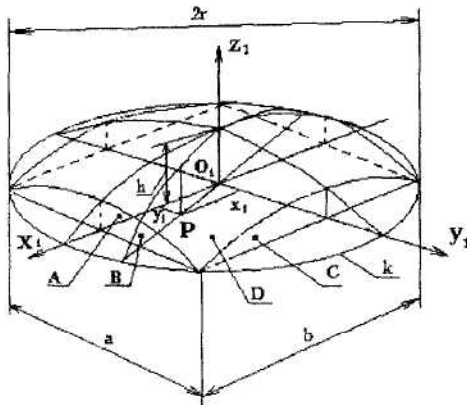


Рис. 4

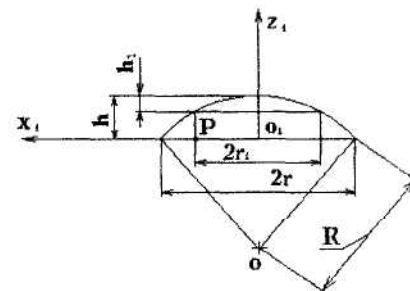


Рис. 5

Розглядаємо поверхню земного еліпсоїда як поверхню сфероїда з радіусом, що дорівнює радіусу кривизни поверхні еліпсоїда в певній точці (в меридіональному перерізі А). Тому вважаємо, що площина досліджуваної поверхні С деталі з розмірами $a \times b$ перетинає поверхню еліпсоїда D по лінії k (рис. 4), яка надзвичайно мало відрізняється від кола. Радіус цього кола r визначається радіусом кривизни умовного сфероїда R та геометричними розмірами досліджуваної поверхні деталі в плані, наприклад, прямокутної форми, навколо котрої описане це коло.

Максимальне значення поправки на випуклість поверхні рідинного дзеркала для точки в центрі досліджуваної поверхні визначається виразом:

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad (6)$$

Вважаємо, що довільна точка досліджуваної поверхні деталі $P(x_1, y_1)$ знаходиться в меридіональній площині B сфероїда, яка проходить через центр досліджуваної поверхні деталі та вказану точку. З досліджуваною площиною зв'язуємо систему координат $x_1 y_1 z_1 o_1$ з початком в центрі поверхні. В точці $P(x_1, y_1)$ ставимо перпендикуляр до досліджуваної поверхні деталі і через точку перетину перпендикуляра і поверхні сфероїда D проводимо умовну площину, паралельну досліджуваній поверхні деталі. Отримуємо лінію перетину сфероїда і вказаної площини – коло, радіус якого r_1 визначається виразом (рис. 4, рис. 5):

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad (7)$$

Максимальне значення поправки на випуклість поверхні рідинного дзеркала, обмеженої колом радіуса r_1 , визначаємо виразом:

$$h_1 = R - \sqrt{R^2 - r_1^2} \quad (8)$$

Поправка на випуклість поверхні рідинного дзеркала для точки $P(x_1, y_1)$:

$$h_p = h_1 - h_2. \quad (9)$$

Залежність значень поправок від радіуса описаного навколо досліджуваної поверхні кола наведена на рис. 6.

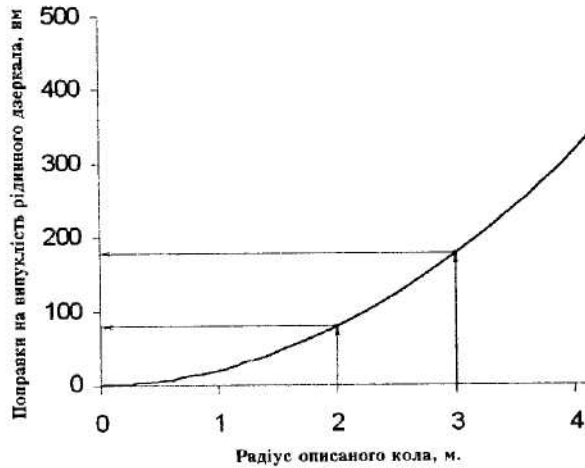


Рис. 6

Таким чином, врахування поправок на випуклість рідинного дзеркала дає можливість зробити його зразковим і підвищити точність результатів вимірювань при дослідженні площинності плоских поверхонь деталей.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Коломийцов Ю.В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1976. – 296 с.
2. Духопел И.И., Симоненко Т.В. Контроль плоскостей методом голографической интерференции // ОМП – 1971. – № 8. – С. 44–48.
3. Гинзбург В.М. Голографические измерения. – М.: Радио и связь, 1981. – 296 с.
4. Салищев К.А., Гедынин А.В. Картография. – М.: Государственное издательство картографической литературы, 1955. – 407 с.

ВЕРЕМЕЙЧИК Олександр Аркадійович – аспірант кафедри технології машинобудування та КТС Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– фрезерування плоских поверхонь.

Подано 15.08.2002