

УДК 621.923.42

А.В. Рудик, канд. техн. наук

В.І. Венжега, канд. техн. наук

В.А. Рудик, магістр

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ ТОРЦІВ

А.В. Рудик, канд. техн. наук

В.И. Венжега, канд. техн. наук

В.А. Рудик, магистр

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОРЦОВ

A.V. Rudyk, Candidate of Technical Sciences

V.I. Venzhega, Candidate of Technical Sciences

V.A. Rudyk, master

Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF THE ENDS BUTT FORMING

Запропоновано методику знаходження середньоквадратичної базової площини обробленої торцевої поверхні деталі. Ця методика не накладає обмежень на характер вимірювальної траєкторії та дозволяє оцінити як відхилення від перпендикулярності базової площини, так і знайти розсіювання точок обробленої плоскої поверхні щодо неї.

Ключові слова: формоутворення, торцева поверхня деталі, шліфування.

Предложена методика определения среднеквадратической базовой площади обработанной торцевой поверхности детали. Данная методика не накладывает ограничений на характер измерительной траектории и позволяет оценить как отклонение от перпендикулярности базовой плоскости, так и определить рассеивание точек обработанной поверхности относительно нее.

Ключевые слова: формообразование, торцевая поверхность детали, шлифование.

The method of determination of mean baseline machined face of the part. This technique does not impose restrictions on the nature of the measuring path and allows us to estimate the deviation from perpendicularity of the reference plane, and determine the dispersion of the points of the machined surface for her.

Key words: forming, the ends butt surface of detail, grinding.

Постановка проблеми. Оброблення шліфуванням плоских торцевих поверхонь на двохсторонньому торцевошліфувальному верстаті моделі 3342 АДО є високоефективною. Порівняно з обробленням на плоскошліфувальних верстатах продуктивність значно зростає за рахунок менших витрат часу на встановлення деталей. Крім того, спосіб дозволяє проводити одночасне оброблення двох торців. Торцевошліфувальні верстати мають ще одну суттєву перевагу – вони можуть бути включеними до автоматичних ліній через скорочення частки ручної праці.

Проте збільшення продуктивності можна досягти, включивши торцеву поверхню абразивного інструменту в процес різання. З цією метою шліфувальні бабки з абразивним інструментом орієнтують у вертикальній та горизонтальній площинах.

Орієнтація у вертикальній площині відкриває торцеву поверхню круга для підведення припуску, що збільшує площу контакту та, відповідно, продуктивність оброблення. Для часткової компенсації похибок проводять також орієнтацію у горизонтальній площині. Це, однак, погіршує точність формоутворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формоутворенню торцевих поверхонь деталей присвячено багато наукових праць. Цією проблемою займалися В. В. Кальченко, Є. Н. Маслов, А. А. Маталін, В. І. Островський, М. Ф. Семко, С. С. Шахновський та інші.

Так, наприклад, у роботах [2; 3] вказано про створення нового ефективного способу шліфування кругами з комбінованою правкою та захищеними формотвірними ділянками.

ми. Однак метрологічне оцінювання обробленої поверхні є складним, придатним лише для круглих перерізів деталей.

Відомі результати робіт [1; 7], де автори спільно працювали над удосконаленням методики оцінювання похибок оброблення. В цій роботі ці результати доповнено.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на велику кількість наукових праць, питання відповідності налагодження верстата та досягнення оптимальної точності формоутворення на ньому не має остаточного вирішення. Існує велика кількість рекомендацій, методик та технічних пропозицій. Саме тому завдання отримання високої точності оброблення при підвищенні продуктивності є актуальною для оброблення багатьох деталей машинобудування. Проведення та математичне оброблення вимірювань оброблених поверхонь сприяє її вирішенню.

Мета статті. Метою статті є визначення положення базової площини та проведення експериментальної перевірки відповідності встановлених теоретичних моделей точності формоутворення торців деталей на певній моделі верстата.

Виклад основного матеріалу. Для отримання оцінок точності розмірів, положення та форми обробленої поверхні необхідно побудувати метрологічну базу, за допомогою та відносно якої можна знайти ці оцінки. При обробленні торців нею слугує базова площина.

Розміри та положення базової поверхні залежать як від відхилень точок обробленої поверхні від номінальної, так і від її виду. Найбільш важливим видом базової поверхні є середньо квадратична [5].

Припустимо, що знайдені з профілограми координати N точок M_1, M_2, \dots, M_N обробленої поверхні, які розташовані на колі, радіусом R траєкторії руху вимірювального пристрою кругломіру (для координат X_i, Y_i, Z_i з профілограми). Необхідно визначити шукані коефіцієнти a, b, d рівняння базової площини $Z = a \cdot X + b \cdot Y + d$.

Систему лінійних рівнянь, що описують положення базової площини, записують згідно з принципом Лежандра, використовуючи мінімум суми квадратів помилок [4]:

$$S = \sum_{i=1}^N [a \cdot X_i + b \cdot Y_i + d - Z_i]^2 = \min, \quad (1)$$

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \frac{\partial S}{\partial b} = \frac{\partial S}{\partial d} = 0. \quad (2)$$

Систему, яка складається з трьох лінійних рівнянь, розв'язують відносно невідомих коефіцієнтів за допомогою матриць:

$$A \cdot K = B, \quad (3)$$

$$\text{де } A = \begin{bmatrix} \sum_N X_i \cdot X_i & \sum_N X_i \cdot Y_i & \sum_N X_i \\ & \sum_N Y_i \cdot Y_i & \sum_N Y_i \\ & & N \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \sum_N X_i \cdot Z_i \\ \sum_N Y_i \cdot Z_i \\ \sum_N Z_i \end{bmatrix} - \text{матриці, стрічки яких складені з сум}$$

добутків та координат точок обробленої поверхні $M_i(X_i, Y_i, Z_i)$;

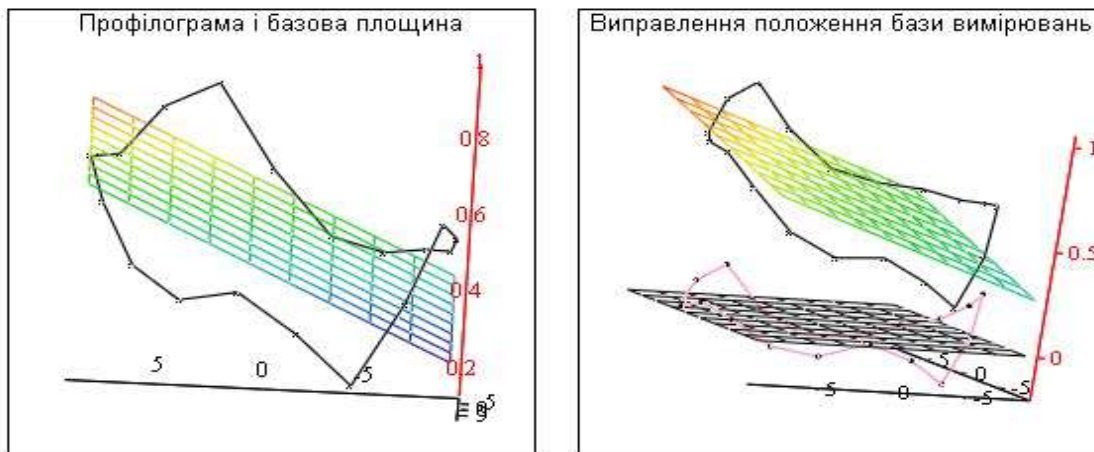
$K = [a \ b \ d]^T$ – шуканий вектор коефіцієнтів базової площини, що визначається розв'язанням матричного рівняння

$$K = A^{-1} \cdot B. \quad (4)$$

Таким чином, рівняння базової площини має вигляд $Z = a \cdot X + b \cdot Y + d$,

$$\text{або } a \cdot x + b \cdot y - 1 \cdot Z + d = 0. \quad (5)$$

Визначимо відхилення точок M_1, M_2, \dots, M_N обробленої поверхні відносно базової площини, для чого сумістимо координатну XY і базову площини (рис. 1).



Відхилення від перпендикулярності

$$\gamma := \sqrt{(\alpha_6)^2 + (\beta_6)^2}$$

$$\frac{\gamma}{\text{дан}} = 0.0081$$

Рис. 1. Результати розрахунку положення базової площини до обробленої торцевої поверхні та її корекція

Матриця, яка відповідає похибкам положення базової площини, описується рівнянням (5). Елементи її δ_x , δ_y , γ можна не враховувати через те, що вони не призводять до зміни положення площини у просторі – «базова площина ковзає сама по собі».

Елементи α_6 , β_6 матриці ϵ_6 відповідають кутовим похибкам навколо осей X та Y відповідно, а елемент γ – зсуву δ_z вздовж осі Z.

Ці елементи матриць визначають з рівнянь (рис. 2)

$$\alpha_6 \approx \sin \alpha_6 = \frac{b}{\sqrt{b^2 + 1}}$$

$$\beta_6 \approx \sin \beta_6 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + 1}}$$
(6)

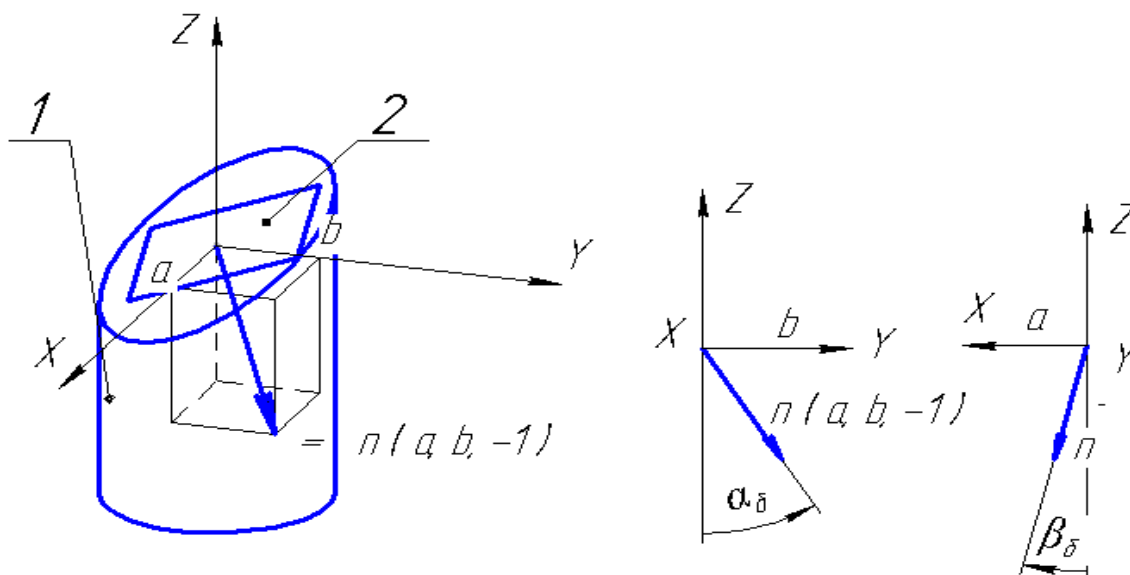


Рис. 2. Схема до визначення похибок положення базової площини:
1 – оброблена деталь; 2 – середньоквадратична базова площина

Відхилення від перпендикулярності базової площини та зсув її вздовж осі деталі визначають

$$\alpha_0^2 + \beta_0^2 = \frac{a^2 + b^2}{a^2 + b^2 + 1}; \quad \delta_z = \frac{d}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}}. \quad (7)$$

Тоді матрицю ϵ_0 похибок положення базової площини записують

$$\epsilon_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \beta_0 & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_0 & 0 \\ -\beta_0 & \alpha_0 & 0 & \delta_{0z} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Враховуючи дані величини зі зворотним знаком, можна корегувати положення базової площини як основи вимірювань:

$$\begin{aligned} \vec{\Delta r}_0 &= \epsilon_0 \cdot \vec{r}_0 \\ \vec{r}_{корек} &= \vec{r}_0 - \vec{\Delta r}_0, \end{aligned} \quad (9)$$

де наведені вище вектори характеризують номінальне та дійсне положення обробленої торцевої поверхні.

Відхилення від площини визначають за різницею найбільшого й найменшого значень координат Z. Розсіювання вектора навколо базової площини визначають за допомогою стандартної функції середньоквадратичного відхилення у пакеті MathCAD.

З метою підтвердження методики на другій половині рис. 1 здійснена корекція положення базової площини разом із точками торцевої поверхні, координати яких введені згідно з профілограмою.

Проведені експериментальні дослідження точності формоутворення торців за допомогою кругломіра "TALYROOND" (рис. 3) підтвердили теоретичні розрахунки.

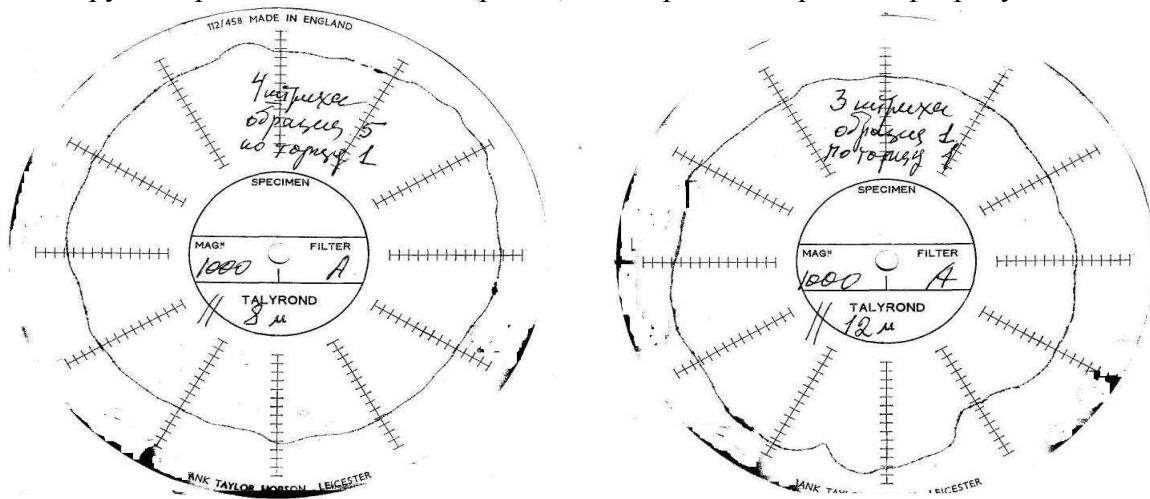


Рис. 3. Профілограми торцевого биття обробленої торцевої поверхні отримані на кругломірі TALYROOND

Сума квадратів координат всіх виміряних точок відповідає розсіюванню або дисперсії обробленої торцевої поверхні навколо базової площини.

Крім похибок положення базової площини, які оцінюють кутом $\sqrt{\alpha_0^2 + \beta_0^2}$, що відповідає відхиленню від перпендикулярності торця, вдосконалена математична модель. Вона дозволяє визначити міру розсіювання навколо базової площини через середньоквадратичне відхилення (або дисперсію) у функції вхідних похибок:

$$\sigma^2 = \frac{1}{S} \cdot \iint_s [\Delta r_n(\beta, \theta) - \Delta r_{\delta, n}(\beta, \theta)]^2 dS, \quad (10)$$

де в дужках наведена різниця квадратів проекцій на нормаль векторних похибок положення ланок та технологічної вихідної $\Delta r_{b.n.}(\beta, \theta)$ у точці торця з координатами оброблення (β, θ) , а відношення площин dS/S можна розглядати як елемент ймовірності.

Значення вхідної векторної похибки на нормаль $\Delta r_n(\beta, \theta)$, яке характеризує зміщення ланок верстата відносно номінального положення, визначають з врахуванням знайдених передаточних коефіцієнтів як подібно до виразів

$$\Delta r_n(\beta, \theta) = \sum_k a_k(\beta, \theta) \cdot q_k, \quad (11)$$

де q_k – k -та вхідна похибка налашки верстата.

Висновки і пропозиції. Створена методика дозволяє порівнювати теоретично розраховані похибки з експериментально вимірними за допомогою профілографу. Дані виміру профілограм можуть бути одержані по довільній або декількох траєкторіях вимірювань та перевірені розрахунковим шляхом, що робить методику універсальною. Її можна застосовувати для порівняння різних методів оброблення площин як круглої, так і прямокутної форм.

Складені алгоритм та програми розрахунку в пакеті програм MathCAD по визначенню відхилень від площинності і перпендикулярності та матриці передатних коефіцієнтів між вхідними та вихідними похибками.

Отримані експериментальні результати не суперечать теоретичним. Похибка знаходиться в межах 10 %.

Список використаних джерел

1. Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців зі схрещеними осями деталі та круга із калібрувальною ділянкою : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. І. Венжега. – Х., 2008. – 25 с.
2. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧГТУ, 2009. – 356 с.
3. Кальченко В. В. Формоутворення торців циліндричних деталей, що не обертаються під час обробки, профічльованими і орієнтованими кругами / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 1999. – Вип. 9. – С. 11-17.
4. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление : учебник : в 2-х т. / Н. С. Пискунов. – СПб. : Мифрил. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1996.
5. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.
6. Рудик А. В. Вплив похибок налашки верстату моделі 3342 АДО на похибки формоутворення плоских поверхонь / А. В. Рудик // Вестник национального технического университета "ХПИ". – Х. : ХДПУ, 2011. – Вип. 53. – С. 94-106.
7. Рудик А. В. Формоутворення торців деталей автомобілів при двосторонньому шліфуванні / А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 2008. – Вип. 34. – С. 80-89.
8. Шахновский С. С. Погрешности торцов колец подшипников при двустороннем плоском шлифовании / С. С. Шахновский // Станки и инструмент. – 1983. – № 1. – С. 27-30.