

УДК 621.923.42

В.І. Венжега, канд. техн. наук

А.В. Рудик, канд. техн. наук

Г.В. Пасов, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБЛЕННЯ ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ПРУЖИН
СТИСКУ АВТОМОБІЛІВ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ**

В.И. Венжега, канд. техн. наук

А.В. Рудик, канд. техн. наук

Г.В. Пасов, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ТОРЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ПРУЖИН СЖАТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ
И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ**

Volodymyr Venzheha, PhD in Technical Sciences

Andrii Rudyk, PhD in Technical Sciences

Hennadii Pasov, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**INFLUENCE OF PROCESSING OF END SURFACES OF CAR COMPRESSION
SPRINGS ON THEIR RELIABILITY AND DURABILITY**

Представлено аналіз і класифікацію відмов, що виникають у вузлах автотранспортних засобів з вини пружин, запропоновано метод остаточного оброблення пружин шліфуванням, що забезпечує високу точність і продуктивність без зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару та нову методику знаходження середньоквадратичної базової площини обробленої торцевої поверхні деталі, яка не накладає обмежень на характер вимірюваль-

ної траєкторії та дозволяє оцінити як відхилення від перпендикулярності базової площини, так і знайти розсіювання точок обробленої плоскої поверхні щодо неї.

Ключові слова: пружини, формоутворення, торцева поверхня деталі, шліфування.

Представлен анализ и классификация отказов, возникающих в узлах автотранспортных средств по вине пружин, предложен метод окончательной обработки пружин шлифовкой, что обеспечивает высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя и новую методику нахождения среднеквадратичной базовой плоскости обработанной торцевой поверхности детали, которая не накладывает ограничений на характер измерительной траектории и позволяет оценить как отклонение от перпендикулярности базовой плоскости, так и найти рассеивания точек обработанной плоской поверхности относительно нее.

Ключевые слова: пружины, формообразования, торцевая поверхность детали, шлифование.

The following aspects are introduced: the analysis and classification of failures that occur in the vehicle knots on the fault of the springs; the method of the final processing of springs by grinding that provides high accuracy and productivity without any changes in physical and mechanical properties of the surface; the new method of calculation of the standard plane of the processed end surface that doesn't restrict a character of measuring trajectory and allows us to calculate the deviation from the perpendicular of a basic surface and find the scattering points of the processed plane surface on it as well.

Key words: spring, forming, end face detail sanding.

Постановка проблеми. Працездатність і стабільні експлуатаційні характеристики автомобілів багато в чому лімітуються ресурсом роботи пружин. Найбільш характерно це проявляється в паливній апаратурі, газорозподільних механізмах, підвісках автомобілів, а також інших механізмах. Тому одним з основних шляхів вирішення проблеми підвищення надійності і довговічності є застосування таких технологічних методів оброблення, які забезпечують високі експлуатаційні властивості відповідальних пружин.

Практика показує, що в багатьох випадках пружини, виготовлені за прийнятою технологією і з якісного дроту, в умовах експлуатації передчасно втрачають пружні властивості або швидко руйнуються, особливо пружини, що працюють у динамічних умовах. Це свідчить про наявність недоліків у технологіях виробництва пружин і про необхідність розроблення способів підвищення їх несучої здатності і сталості пружних властивостей у часі. Істотний вплив на втомну міцність пружин має якість поверхневого шару дроту. Полумки пружин внаслідок втоми або втрата робочих характеристик через релаксації напружень приводять до виходу з ладу вузлів або всієї машини в цілому.

Великий вплив на формування якості поверхневого шару деталі і у зв'язку з цим на її експлуатаційні властивості має технологія виробництва, а особливо операції остаточного оброблення.

Потребує вирішення також проблема оцінювання і прогнозування похибок оброблення запропонованим у роботі методом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Втомне руйнування пружини відбувається внаслідок багаторазової зміни напружень і пов'язано з місцевими пластичними деформаціями в окремих мікрооб'ємах (зернах). При високих напруженнях і великій кількості їх повторень на поверхні пружини виникає тріщина, що поширюється по перетину витка і веде до поломки пружин. Створення поблизу поверхні залишкових стискуючих напружень дозволяє збільшувати граничні амплітуди напружень у поверхневому шарі пружини без ризику її передчасного руйнування. Змінюючи залишкові напруження стиску і глибину зміцнення, можна одержати різний розподіл меж витривалості з підвищенням їх поблизу поверхні. Великий вплив на міцність пружин у цілому має якість внутрішнього шару (серцевини), тому поряд із зміцненням поверхневого шару необхідно прагнути до високої міцності вихідного матеріалу, він повинен бути правильно обраним і правильно термічно обробленим [1].

Ю.І. Іванов і Н.В. Носов на основі результатів оброблення експериментальних даних [2] запропонували емпіричну залежність межі витривалості від параметрів якості поверхневого шару:

$$\sigma_{-1} = \sigma(1 + \varepsilon_1) - \varepsilon_2 R_a - \varepsilon_3 \sigma_1,$$

де ε_1 , ε_2 , ε_3 – коефіцієнти, що враховують наклеп, шорсткість і залишкові напруження в поверхневому шарі.

З формули видно, що можна підвищити межу витривалості деталі. Якщо після остаточного механічного оброблення в поверхневих шарах формуються залишкові напруження стиснення, то останній член у формулі має знак плюс і, відповідно, буде збільшуватися. Крім цього, σ_{-1} , залежить також від глибини поверхневого зміцнення, якщо ϵ_1 позитивний, це збільшує межу витривалості. Зниження шорсткості R_a завжди буде супроводжуватися збільшенням межі витривалості деталей.

Автори [3] як метод остаточного оброблення пружин пропонують стрічкове шліфування з обертанням стрічки навколо деталі. Пристрій розроблений на основі схеми одностороннього шліфування вільною абразивною стрічкою з обертанням її навколо деталі. Основним недоліком запропонованого методу є низька продуктивність оброблення.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Формоутворенню торцевих поверхонь деталей присвячено науковій праці В.В. Кальченка, Є.Н. Маслова, А.А. Маталіна, В.І. Островського, М.Ф. Семко, С.С. Шахновського та інших. Так, наприклад, у роботах [4; 5] наводиться новий ефективний спосіб шліфування кругами із комбінованою правкою та захищеними формотвірними ділянками. Однак запропоноване метрологічне оцінювання обробленої поверхні є складним, придатним лише для круглих перерізів деталей.

Відомі результати робіт [6; 7], де автори спільно працювали над удосконаленням методики оцінювання похибок оброблення. У цій роботі ці результати доповнено.

Мета статті. Метою роботи є аналіз та класифікація відмов, які виникають у вузлах автотранспортних засобів з вини пружин, і розроблення методу остаточного оброблення пружин шліфуванням, що забезпечує високу точність і продуктивність без зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару, а також визначення положення базової площини та перевірки відповідності розроблених моделей оцінювання точності експериментальним даним.

Виклад основного матеріалу. Більшість автомобільних пружин можна класифікувати за такими ознаками.

1. За характером роботи: пружини стиснення або розтягування з кільцями і без них.
2. За формою пружини: переважно циліндричні.
3. За напрямом навивки: переважно праві.
4. За характером прикладання навантажень:

– що працюють при динамічному навантаженні, для яких характерна велика кількість циклів навантаження – клапанні пружини газорозподільного механізму, пружини бензонасосу;

– що працюють при динамічному навантаженні – пружини форсунок дизельних двигунів, пружини стартера, пружини підвіски, пружини обмежувача максимальної частоти обертання колінчастого вала, пружини відцентрового або вакуумного регуляторів випередження запалювання, пружини перепускного клапана амортизатора;

– що працюють при статичному навантаженні – пружини пристрою натягування паса або ланцюга приводу розподільчого вала двигуна; пружини муфти вимикання, натискні периферійні пружини диска зчеплення; пружини вилки вимкнення зчеплення; пружини дисків і барабанів гальмівної системи.

5. За розмірами: дрібні, середні і великі.

Аналіз основних несправностей автомобілів дозволяє зробити такі висновки: основна несправність – втрата пружності або поломка циліндричних витків пружин, яка характерна для пружних елементів, що витримують змінні навантаження, а ремонт несправностей зводиться до підкладання шайб (при осадженні пружин стиснення) і заміні новою пружиною, яка відповідає технічним умовам.

Розглянемо докладніше відмови, що виникають у вузлах автотранспортних засобів з вини пружин [1; 2; 3].

I. Газорозподільний механізм.

1. Несправність: зниження потужності двигуна. Причина: негерметичність клапанів впливає не тільки на зниження компресії, а й на весь процес утворення і згоряння робочої суміші. Відбувається під час ослаблення або поломки пружин клапанів.

2. Несправність: биття пасу або ланцюга приводу газорозподільного механізму. Причина: зменшення пружності пружини пристрою натягу паса або ланцюга приводу розподільного вала двигуна.

II. Паливна система карбюраторних двигунів.

1. Несправність: зниження тиску, який подається до карбюратора палива, що приводить до зниження рівня палива в камері. Причина: зменшення пружності робочої пружини бензонасоса.

2. Неправильна робота обмежувача максимальної частоти обертання колінчастого вала. Причина: втрата пружності пружини.

III. Паливна система дизелів.

1. Несправність: незадовільна робота форсунок – мається на увазі як якість уприскування (тиск уприскування), так і відповідність моменту уприскування оптимальному варіанту. При цьому уприскування палива відбуватиметься трохи раніше. Причина: зниження пружності робочої пружини форсунок.

IV. Стартер.

1. Несправність: стартер вимикається, але шестерні не виходять із зачеплення і при цьому прослуховується скрегіт шестерень. Причина: ослаблення буферної пружини.

V. Система запалювання.

1. Несправність: відмова переривника-розподільника, що викликає неправильну роботу запалювання. Причина: ослаблення жорсткості пружини відцентрового або вакуумного регуляторів випередження запалювання.

VI. Зчеплення.

1. Несправність: неповне включення зчеплення. Причина: поломка або послаблення пружини муфти вимикання або натискних периферійних пружин натискного диска.

2. Несправність: підвищений шум під час включення зчеплення. Причина зіскакування, втраті пружності або поломка пружини вилки виключення зчеплення.

VII. Коробка зміни передач.

1. Несправність: самовимкнення передач. Причина: ослаблення пружин фіксаторів або засмічення гнізд пружин.

VIII. Ходова частина.

1. Несправність: відхилення автомобіля від прямолінійного руху. Причина: неоднакова пружність пружин підвіски.

2. Несправність: нахил кузова автомобіля. Причина: нерівномірне осідання пружин підвісок.

3. Несправність: незадовільна робота амортизаторів. Причина: надмірне осідання пружини перепускного клапана амортизатора.

IX. Рульове управління.

1. Несправність: масляний насос не розвиває необхідної подачі і достатнього тиску в системі гідропідсилювача. Причина: порушення роботи запобіжного клапана (при забрудненні, поломці пружини).

X. Гальмівна система.

1. Несправність: сильне нагрівання дисків; неповне розгальмовування коліс. Причина: обривання або ослаблення обмежувальної пружини.

2. Несправність: сильне нагрівання гальмівних барабанів; неповне розгальмовування коліс; скрип або вібрація гальмівних механізмів коліс. Причина: обривання або послаблення стяжних пружин колодок.

Формування якості поверхневого шару деталей в основному здійснюється на заключних операціях технологічного процесу їх отримання.

Процеси шліфування характеризуються високою теплонапруженістю процесу і великими питомими тисками в зоні різання. Значні зміни температури і тиску в зоні різання, у свою чергу, викликають зміну структури, фазового стану і на їх основі зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів металу. Наклеп, структурні та фазові перетворення формують у поверхневих шарах деталей залишкові напруження. Числові значення і знак напружень залежать від значення і знака вихідних залишкових напружень, отриманих деталлю на попередніх операціях, а також від ступеня силового і теплового впливу поточної операції.

Остаточне оброблення пружин пропонується проводити на двосторонніх торцешліфувальних верстатах з горизонтальним компонуванням шпиндельних вузлів за один прохід, одночасно з двох сторін, застосовуючи спеціально профільовані абразивні круги. Верстати здебільшого складаються з литої чавунної станини, на якій закріплюються дві шліфувальні бабки з незалежними електроприводами, механізму подачі виробів у зону оброблення і механізму правки шліфувальних кругів. Крім цих вузлів, є допоміжні прилади та пристрої: пристрій повороту шліфувальних бабок у вертикальній і горизонтальній площинах, система подачі МОР, пристрій компенсації зносу шліфувального круга та інші.

Для підвищення ефективності шліфування, зниження теплового впливу необхідна профільна правка круга. Найбільш раціональним є запропонований комбінований спосіб правки, представлений на рис. 1.

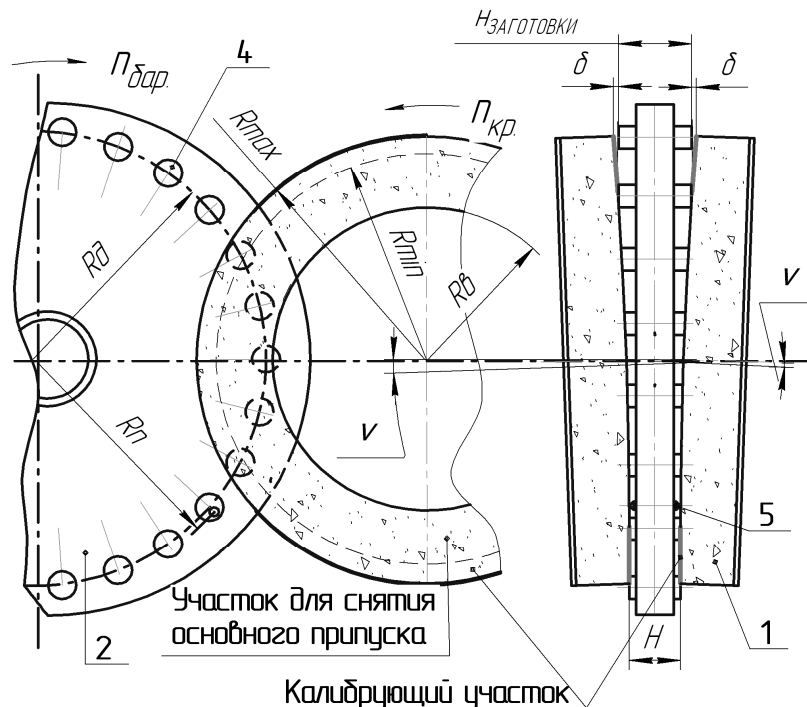


Рис. 1. Комбінований спосіб правки

Круги 1 орієнтують у горизонтальній площині на кут γ і у вертикальній – на кут ν з метою зняття припуску за один прохід. Спочатку вся торцева поверхня круга правиться в площині, перпендикулярній осі обертання круга. Після цього діамантовими олівцями

5, закріплені на барабані подачі 2, правлять ділянки, які прилягають до зовнішніх діаметрів кругів. При цьому величина радіуса правки R_p , по якому переміщується вершина діамантового олівця при правці, вибирається залежно від форми оброблюваної деталі 4 та її орієнтації в процесі шліфування.

У робочому циклі шліфування комбінована правка дає можливість розподілити припуск δ між чорною і чистою ділянками, збільшити робочу довжину L дуги контакту деталей з кругом, що підвищує продуктивність оброблення, знизити температуру в зоні оброблення. Висока точність форми торця деталі забезпечується на формотвірній ділянці 3, прилеглій до зовнішнього діаметра круга, при виході із зони оброблення. При цьому формоутворювальна ділянка 1 не бере участь у зніманні припуску при вході в зону шліфування і має високу стійкість.

Для отримання оцінок точності розмірів, положення та форми обробленої поверхні необхідно побудувати метрологічну базу, за допомогою та відносно якої можна знайти ці оцінки. Під час оброблення 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 середньоквадратична.

Нехай 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 $Z = aX + bY + d$.

Систему лінійних рівнянь, що описують положення базової площини, записують згідно з принципом Лежандра, використовуючи мінімум суми квадратів помилок [7]:

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

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

Систему, яка складається з трьох лінійних рівнянь, вирішують відносно невідомих коефіцієнтів за допомогою матриць:

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

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

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 рішенням матричного рівняння

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

Таким чином, рівняння базової площини має вигляд $Z = a \cdot x + b \cdot y + d$, 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 XU і базову площини (рис. 1).

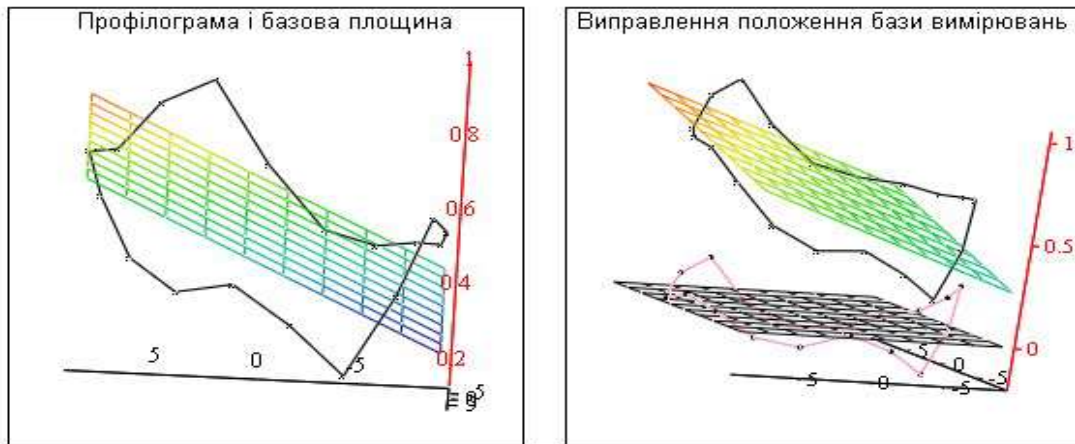
Матриця, яка відповідає похибкам положення базової площини, описується рівнянням (5). Елементи її $\delta_x, \delta_y, \gamma$ можна не враховувати через те, що вони не приводять до зміни положення площини у просторі – «базова площина ковзає сама по собі».

Елементи $\alpha_\delta, \beta_\delta$ матриці ε_δ відповідають кутовим похибкам навколо осей X та Y відповідно, а елемент δ_z зсуву вздовж осі Z.

Ці елементи матриць визначають з рівнянь (рис. 2)

$$\alpha_\delta \approx \sin \alpha_\delta = \frac{b}{\sqrt{b^2 + 1}},$$

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



Відхилення від перпендикулярності

$$\gamma := \sqrt{(\alpha_\delta)^2 + (\beta_\delta)^2}$$

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

Рис. 2. Результати розрахунку положення базової площини до обробленої торцевої поверхні та її корекція

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

$$\alpha_\delta^2 + \beta_\delta^2 = \frac{a^2 + b^2}{a^2 + b^2 + 1}; \delta_z = \frac{d}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}}.$$
(7)

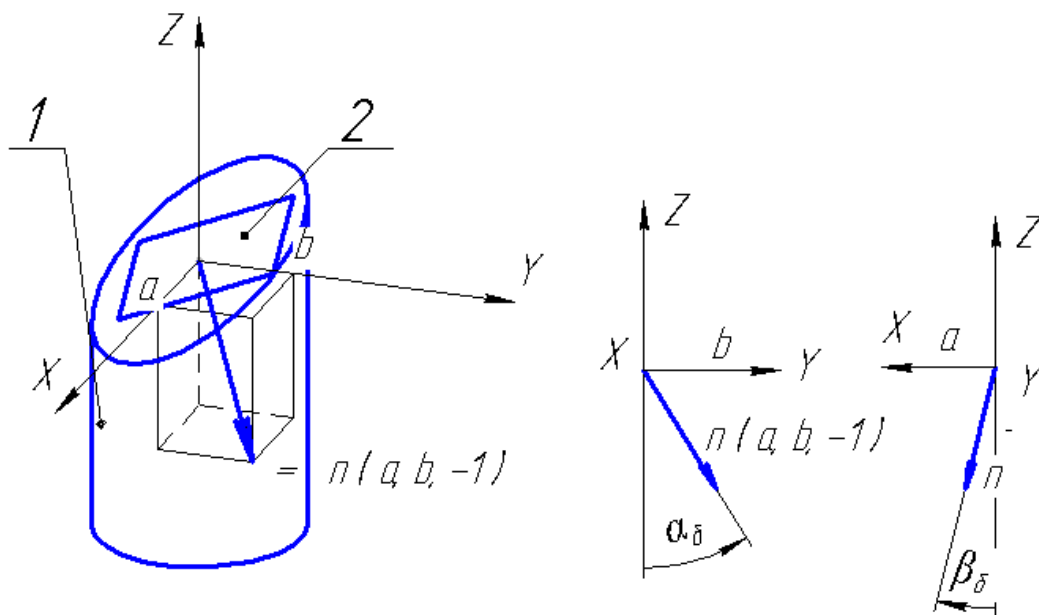


Рис. 3. Схема до визначення похибок положення базової площини: 1 – оброблена деталь, 2 – середньоквадратична базова площина

Тоді матрицю ε_{δ} похибок положення базової площини записують

$$\varepsilon_{\delta} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \beta_{\delta} & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_{\delta} & 0 \\ -\beta_{\delta} & \alpha_{\delta} & 0 & \delta_{\delta z} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta \vec{r}_{\delta} &= \varepsilon_{\delta} \cdot \vec{r}_0 \\ \vec{r}_{\text{корект}} &= \vec{r}_0 - \Delta \vec{r}_{\delta}, \end{aligned} \quad (9)$$

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

Відхилення від площини визначають за різницею найбільшого та 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 частині 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 TALLYROOND (рис. 4) підтвердили теоретичні розрахунки.

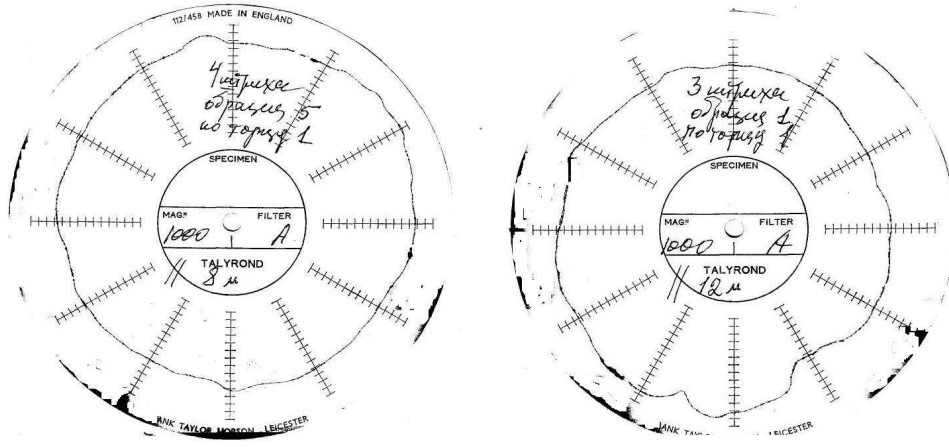


Рис. 4. Профілограми торцевого биття обробленої торцевої поверхні, отримані на кругломірі TALLYROOND

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

Крім похибок положення базової площини, які оцінюють кутом $\sqrt{\alpha_{\delta}^2 + \beta_{\delta}^2}$, 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 проєкцій на нормаль векторних похибок положення ланок та технологічної вихідної $\Delta r_{\delta, n}(\beta, \theta)$ 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 передатних коефіцієнтів a_k 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 наладки верстата.

Висновки і пропозиції. У роботі представлено аналіз і класифікація відмов, що виникають у вузлах автотранспортних засобів з вини пружин, та запропоновано метод остаточного оброблення пружин шліфуванням, який забезпечує високу точність і продуктивність без зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

Розроблено методику, що дозволяє також порівнювати теоретично розраховані похибки оброблення з експериментальними даними. Складено алгоритм та програми розрахунку в пакеті програм MathCAD щодо визначення 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. *Остроумов В. П.* Виробництво гвинтових циліндричних пружин / В. П. Остроумов. – М. : Машинобудування, 1970. – 169 с.
2. *Іванов Ю. І.* Ефективність і якість обробки інструментами на гнучкій основі / Ю. І. Іванов, Н. В. Носов. – М. : Машинобудування, 1985. – 88 с.
3. *Шляєв С. А.* Технологічні методи підвищення якості пружин, застосовуваних на автотранспорті / С. А. Шляєв, С. Р. Аллаяров, Т. Р. Меджитов // Збірник наукових праць Іжевського державного технічного університету. – 2010. – № 43. – С. 75–83.
4. *Кальченко В. В.* Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими абразивними кругами : дис. канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. В. Кальченко. – Х., 1998. – 203 с.
5. *Венжега В. І.* Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. І. Венжега. – Х., 2009. – 214 с.
6. *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.
7. *Кальченко В. В.* Формоутворення торців циліндричних деталей, що не обертаються під час обробки, профільованими і орієнтованими кругами / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 1999. – Вип. 9. – С. 11–17.
8. *Решетов Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.
9. *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.