

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ РЕГУЛЬОВАНОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА

Федориненко Д. Ю., Урліна А. А.

Предложена методика измерения параметров точности опорной поверхности упругой гидростатической втулки подшипника регулируемого типа. Точность гидростатической втулки оценивалась по величине отклонения от круглости ее опорной поверхности. Получены круглограммы опорной поверхности втулки в семидесяти поперечных сечениях. Установлены закономерности формирования отклонения от круглости опорной поверхности гидростатического подшипника, обусловленные технологической наследственностью. Выполнен спектральный анализ точности контура опорной поверхности упругой гидростатической втулки. Установлены закономерности формирования амплитуд существенных гармоник спектра контура опорной поверхности втулки. Показано, что основное влияние на точность опорной поверхности втулки оказывает технология ее изготовления.

Запропонована методика вимірювання параметрів точності опорної поверхні пружної гідростатичної втулки підшипника регульованого типу. Точність гідростатичної втулки оцінювалася за величиною відхилення від круглості її опорної поверхні. Отримані круглограми опорної поверхні втулки в сімдесяти поперечних перерізах. Встановлено закономірності формування відхилення від круглості опорної поверхні гідростатичного підшипника, обумовлені технологічною спадковістю. Виконаний спектральний аналіз точності контуру опорної поверхні пружної гідростатичної втулки. Встановлено закономірності формування амплітуд суттєвих гармонік спектру контуру опорної поверхні втулки. Показано, що основний вплив на точність опорної поверхні втулки чинить технологія її виготовлення.

Proposed methods of measurement of the accuracy of the bearing surface of the elastic hydrostatic bearing adjustable type. The accuracy of the hydrostatic sleeve is estimated by the value of deviation from circularity its support surface. Received circular chart the supporting surface of the sleeve in seventy cross sections. Regularities of the formation of deviations from the roundness of the bearing surface of hydrostatic bearing, due to technological heredity. Executed spectral analysis of the accuracy of the contour of the support surface elastic hydrostatic sleeve. Regularities of the formation of significant amplitudes of the spectrum harmonics of the supporting surface contour of the sleeve. It is shown that the main influence on the accuracy of the bearing surface of the sleeve has its manufacturing technology.

Федориненко Д. Ю.

д-р техн. наук, доц. ЧДТУ
fdy@mail.ru

Урліна А. А.

магістр ЧДТУ
urlina.anastasia@gmail.com

УДК 621.822.172: 621.822.572

Федориненко Д. Ю., Урліна А. А.

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ РЕГУЛЬОВАНОВОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА

У зв'язку з підвищенням вимог до точності форм та розмірів деталей машин різного призначення неминуче постає питання підвищення точності обладнання, на якому ці прецизійні деталі виготовляють. На шпindelний вузол припадає до 80 % похибки в загальному балансі точності верстата [1]. Одними з найбільш перспективних типів шпindelних опор для реалізації прецизійної обробки є гідростатичні опори (ГСО).

Існуючі методи розрахунку ГСО мають недостатню точність, оскільки ґрунтуються на ідеалізації опорних поверхонь підшипника і не дозволяють визначати експлуатаційні характеристики опор при одночасному впливі геометричних відхилень і пружних деформацій спряжених опорних поверхонь підшипника. Це приводить до формування суттєвих похибок розрахунку і значно ускладнює обґрунтований вибір експлуатаційних параметрів опор, системи живлення, що знижує показники якості шпindelних вузлів із ГСО. Вирішення цієї проблеми шляхом визначення фактичних величин геометричних похибок спряжених опорних поверхонь дозволить підвищити точність розрахунку експлуатаційні характеристики опор.

В роботах [2, 3] показано, що деформації опорних поверхонь чинять шкідливий вплив на всі експлуатаційні характеристики ГСО. Вплив шорсткості опорних поверхонь ГСО досліджувався в роботі [4]. Вказано, що в найбільшому ступені шорсткість (при $R_z \leq 0,4$ мкм) впливає на витрати рідини (до 5 %), несуча здатність при цьому змінюється в межах 0,3 %.

В монографії [5] запропоновано з метою підвищення точності обробки використання регульованих конструкцій ГСО, основним елементом якої є пружна гідростатична втулка. Там же відзначається, що геометричні відхилення форми, пружні деформації спряжених опорних поверхонь істотно впливають на точність положення шпindelного вузла. Однак методика аналізу фактичних показників геометричних відхилень форми у підшипнику регульованого типу не розглянута.

Метою статті є визначення геометричних відхилень форми опорної поверхні пружної втулки гідростатичної опори регульованого типу.

Точність спряжених опорних поверхонь шпindelних ГСО чинить істотний вплив на експлуатаційні характеристики опор, а отже, і вихідні параметри точності обертання шпинделя, надійності роботи всієї системи в цілому. Наприклад, від макро- і мікрогеометрії робочих поверхонь шийок шпинделя та гідростатичних втулок залежить мінімальна величина радіального зазору в опорі, втрати потужності на тертя, несуча здатність, жорсткість опори та ін.

Вимоги до точності спряжених опорних поверхонь ГСО в наш час постійно зростають. Опорні шийки шпинделя повинні мати: відхилення від круглості, циліндричності, конусності поверхонь – не більше 1–2 мкм; шорсткість $R_a < 0,32$ мкм; взаємне биття шийок в межах 1–2 мкм. При виготовленні пружних гідростатичних втулок ГСО регульованого типу повинні бути забезпечені: точність форми конічних поверхонь (відхилення від круглості в межах 5 мкм, радіальне биття – 10 мкм); точність лінійних розмірів опорних поверхонь в межах 7-го квалітету, шорсткість $R_a = 0,32$ мкм; відхилення від круглості та циліндричності опорних поверхонь в межах 12–16 мкм. Отже, як видно, найбільш лімітуючим елементом регульованих ГСО з точки зору забезпечення високої точності опорних поверхонь є пружна гідростатична втулка, тому надалі основну увагу приділимо визначенню її показників точності.

Особливістю зазначеної втулки [6] є наявність системи поздовжніх пазів, що виконують з метою надання втулці пружних властивостей, які дозволяють їй деформуватися в межах розрахункових значень регульованого статичного зазору при відповідному осьовому русі (рис. 1, а). Докладно конструкція пружної гідростатичної втулки розглянута в роботі [5].



Рис. 1. Загальний вигляд дослідного зразка гідростатичної втулки (а) та вимірювального комплексу (б)

Геометричні відхилення форми гідростатичної втулки оцінювалися за показниками відхилень від круглості її опорної поверхні. Для цього було виготовлено дослідний зразок гідростатичної втулки (рис. 1, а) і здійснено вимірювання відхилень від круглості по довжині її опорної поверхні в 70-ти поперечних перерізах з кроком між сусідніми перерізами 1 мм. Виміри здійснювалися за допомогою кругломіра мод. 289 (рис. 1, б) з послідуною цифрою обробкою сигналів на ЕОМ засобами спеціального програмного забезпечення. Опорна поверхня гідростатичної втулки довжиною 70 мм вкрита рівномірною сіткою перерізів (рис. 2), в яких визначалося відхилення радіальної координати внутрішньої циліндричної поверхні. Це дозволило оцінити похибки форми втулки в тангенціальному (окружному) та аксіальному (поздовжньому) напрямках підшипника.

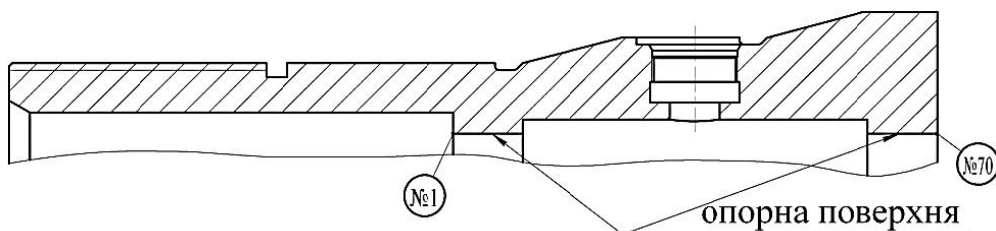


Рис. 2. Схема розташування досліджуваних перетинів по опорній поверхні пружної втулки

Характерною особливістю гідростатичної втулки є наявність груп поздовжніх пазів (рис.1, а), що призначені для забезпечення можливості її деформації в напрямку регулювання зазору в ГСО. Зазначені пази утворюють переривчастий профіль опорної поверхні втулки, для вимірів якого використовувався спеціальний вимірювальний шуп, що входить до комплексу поставки кругломіра.

Перед вимірюванням здійснювалося попереднє налагодження приладу, сутність якого полягає в суміщенні (з мінімальною похибкою) осі опорної поверхні втулки з віссю стола приладу. Налагодження здійснювалося за двома крайніми (нижнім і верхнім, як показано на рис. 1, б) поперечними перерізами опорної поверхні втулки, в яких почергово виконувалося спочатку центрування, а потім нівелювання. Процедури центрування і нівелювання

здійснювалися у двох взаємноортогональних напрямках приладу механізмами мікроподачі стола з контролем відхилень по індикатору робочої зони. Після попереднього налагодження здійснювалися виміри круглограм по довжині опорної поверхні втулки.

На рис. 3 приведені круглограми опорної поверхні втулки в 2-му (рис. 3, а) і 68-му (рис. 3, б) поперечних перерізах.

Круглограми опорної поверхні мають незначні прояви хвилястості з амплітудою до 5 мкм та періодом хвиль 3...4° по куту. На круглограмах чітко простежується огранювання поверхні з числом граней 3 та 5. Мають місце на опорній поверхні риски з глибиною западини 7...15 мкм, які є наслідком технології виготовлення втулки і утворені в результаті контактування опорної поверхні з зовнішньою конічною поверхнею оправки. Зазначена оправка використовувалася для базування по осі опорної поверхні втулки при остаточній обробці конічних поясків.

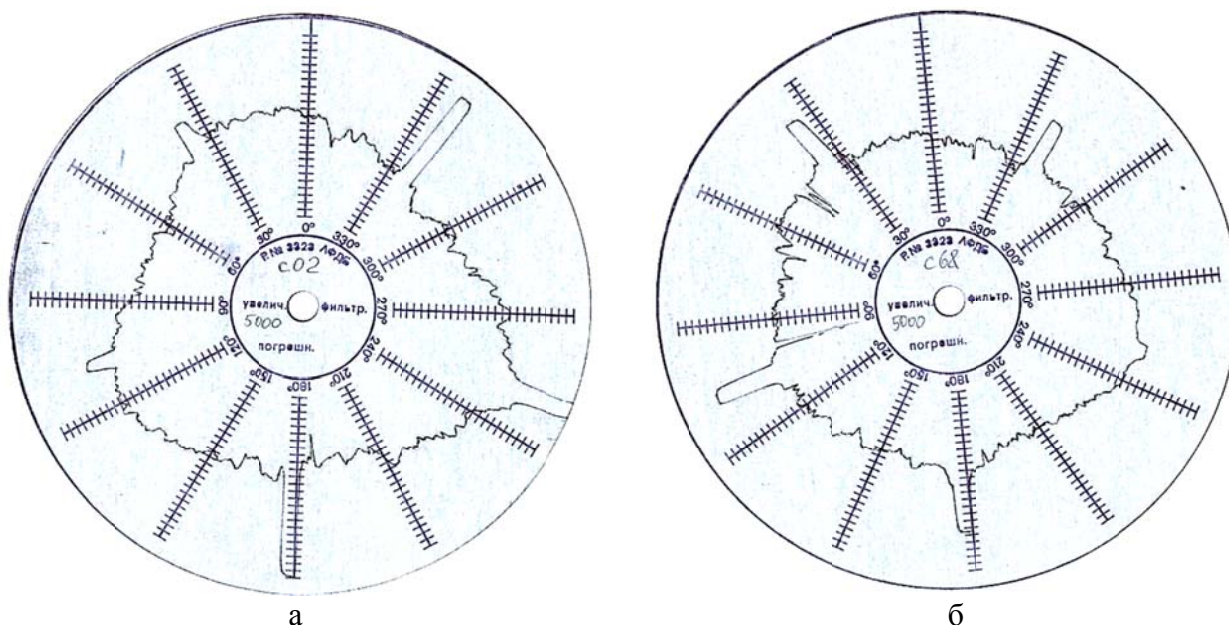


Рис. 3. Типові круглограми опорної поверхні гідростатичної втулки при збільшенні 5000: а – переріз № 2; б – переріз № 68

Для аналізу точності обробки на круглограмах визначена прилегла окружність максимального діаметра, що вписана в реальний профіль опорної поверхні втулки. Відносно прилеглої окружності визначено показники відхилень від круглості. Встановлено, що має місце тенденція зростання відхилення від круглості по довжині опорної поверхні в напрямку до торця підшипника (зліва направо в положенні, як показано на рис. 1, а). Причому зазначені відхилення від круглості збільшуються майже в 2 рази між 1-м і 70-м поперечними перерізами.

Це явище обумовлюється технологічною спадковістю. Пружна гідростатична втулка по довжині має п'ять груп поздовжніх пазів, що приводить до формування неоднакових показників жорсткості в функції полярного кута. При остаточному шліфуванні опорної поверхні в якості технологічної бази використовувалася вісь зовнішньої циліндричної поверхні, розташованої між різевою ділянкою та опорною поверхнею втулки. Тому радіальна жорсткість, враховуючи спосіб установки заготовки при обробці, зменшувалася по довжині консольної частини втулки. Це призвело до відзначеного збільшення відхилень від круглості по опорній довжині втулки.

Формування огранювання контуру опорної поверхні втулки з числом граней 3, 5 пояснюється явищем технологічної спадковості технологічних баз та конструктивних форм відповідно.

Огранювання з трьома гранями виникає внаслідок використання трикулачкового самоцентрівного патрону для базування і силового замикання втулки при остаточній обробці її опорної поверхні. В наслідок деформації втулки при обробці з боку трьох кулачків патрону формується відповідне огранювання контуру обробленої поверхні. Огранювання з п'ятьма гранями формується внаслідок спадкування конструктивної форми втулки, що налічує п'ять груп поздовжніх пазів. При обробці ділянки втулки, утворені переривчастим профілем опорної поверхні, деформуються майже окремо, що обумовлює виникнення огранювання з п'ятьма гранями.

Для аналізу частотного складу круглограм здійснено їх спектральний аналіз. Спектральний аналіз здійснено по результатам математичного опису контуру опорної поверхні втулки, для чого здійснено її експериментальні виміри на кругломірі з послідуною цифровою обробкою. Дискретні значення ординати перерізу поверхні заготовки виміряно в 4100 точках (через $1,532 \times 10^{-3} \text{ }^\circ$ по куту). Методика спектрального аналізу докладно розглянута в роботі [7].

На рис. 4, 5 наведено спектр амплітуд ряду Фур'є контуру втулки в перерізах № 2, № 68 відповідно.

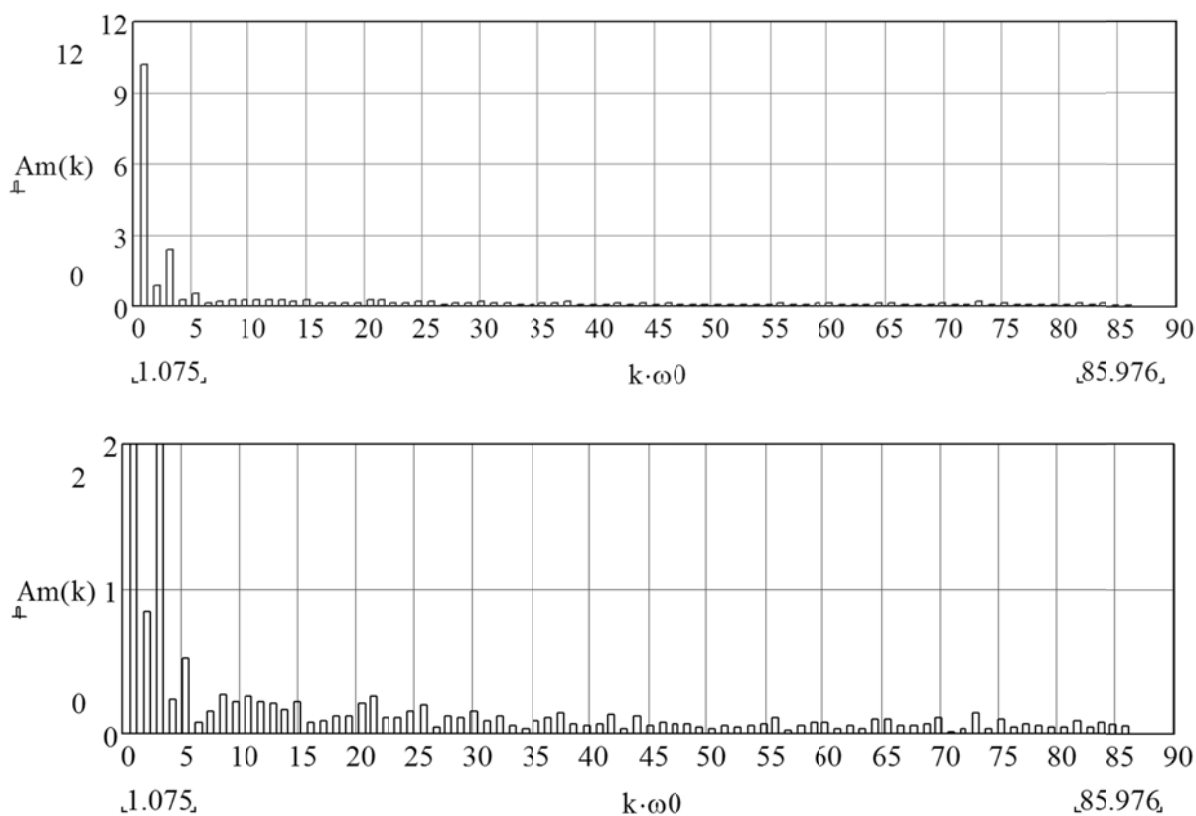


Рис. 4. Спектр амплітуд контуру опорної поверхні гідростатичної втулки в перерізі № 2 (графіки подані в різних масштабах по осі ординат)

Суттєвими є амплітуди гармонік з номерами до п'ятої включно (див. рис. 4). Найбільше значення має перша гармоніка, яка характеризує ексцентриситет контуру опорної поверхні втулки. В спектрі простежуються гармоніки, що характеризують огранювання поверхні, причому найбільшого амплітудного значення приймають гармоніки з номерами 3, 5. Найваж також друга гармоніка, що характеризує овальність контуру. Інші гармоніки мають нерегулярні зміни.

В спектрі на рис. 5, приведеному для перерізу опорної поверхні втулки №68, простежується шоста суттєва гармоніка, яка кратна третій гармоніці і обумовлена деформаціями втулки при використанні трикулачкового патрону для фінішної обробки опорної поверхні.

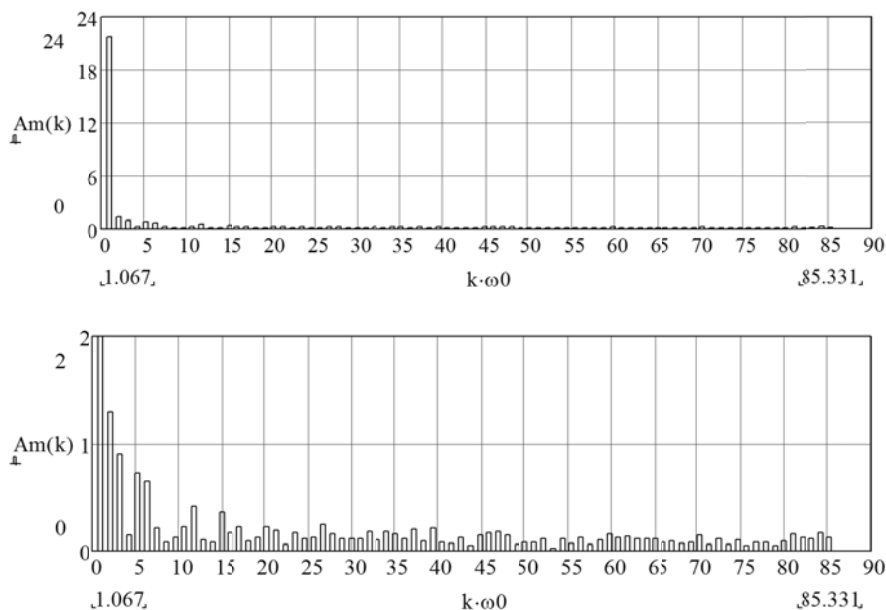


Рис. 5. Спектр амплітуд контуру опорної поверхні гідростатичної втулки в перерізі № 68 (графіки подані в різних масштабах по осі ординат)

З аналізу спектра (рис. 5) випливає, що гармоніки з номерами 1, 2, 5, 6 істотно зростають по відношенню до спектру контуру опорної поверхні в перерізі № 2, значення четвертої гармоніки лишається приблизно на постійному рівні, а величина третьої гармоніки зменшується.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика аналізу показників точності опорної поверхні регульованої гідростатичної втулки, яка дозволяє визначити вплив технології виготовлення, геометричних відхилень форми на експлуатаційні характеристики підшипника.

На основі спектрального аналізу контуру опорної поверхні втулки встановлені закономірності формування точності, обумовлені технологією виготовлення підшипника.

Необхідний пошук шляхів зменшення впливу технологічної спадковості на точність опорної поверхні гідростатичної втулки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пуш А. В. Шпиндельные узлы : Качество и надежность / А. В. Пуш. – М. : Машиностроение, 1992. – 228 с.
2. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках / В. В. Бушуев. – М. : Машиностроение, 1989. – 176 с.
3. Ковальов В. Д. Основи теорії розрахунку та проектування гідравлічних опорних вузлів верстатного устаткування : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01 / Віктор Дмитрович Ковальов. – К. : НТУУ «КПІ», 2001. – 424 с.
4. Строк Л. В. Влияние шероховатости опорных поверхностей на характеристики незамкнутого осевого гидростатического подшипника / Л. В. Строк, Я. Ю. Пикалов, В. С. Секацкий // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1(3). – С. 654–657.
5. Струтинський В. Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах : монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 464 с.
6. Пат. 97685 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатичний підшипник / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко, С. В. Бойко ; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № а201003534 ; заявл. 26.03.2010 ; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
7. Федориненко Д. Ю. Методика дослідження параметрів точності регульованої гідростатичної втулки шпиндельного підшипника / Д. Ю. Федориненко, О. А. Плівак, С. В. Майданюк // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : науковий збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – № 3 (39). – С. 87–93. – (Серія «Технічні науки»).