

Експериментальні показники точності шліфувального верстата з регульованими шпindelними гідростатичними підшипниками

Визначені експериментальні показники радіального биття конуса шпинделя, що базує, статичної жорсткості шліфувального верстата з регульованими радіальними гідростатичними підшипниками шліфувального шпинделя.

точність, шпиндель, регульований гідростатичний підшипник, шліфувальний верстат, радіальне биття, статична жорсткість

Точність – один з основних показників якості машини, що в значній мірі визначає технічний рівень машинобудівних виробів. Сучасний розвиток машинобудівної галузі постійно вимагає підвищення якості виробів, яка безперервно пов'язана з точністю металорізальних верстатів. Основною вимогою до верстата є його здатність забезпечувати якість оброблених різнанням деталей, яка, насамперед, обумовлена точністю формоутворюючих рухів вузлів верстата. На шпindelний вузол припадає до 80% відсотків похибок в загальному балансі точності верстата [1]. Ефективним засобом вирішення поставленої проблеми є застосування керованих гідростатичних підшипників (ГСП) в якості опор прецизійних шпindelних вузлів.

Точність металорізальних верстатів та методи її контролю регламентується відповідними стандартами. Точність шпindelного вузла характеризується точністю його обертання у власних опорах, що може бути оцінена регламентованими

© Д.Ю. Федориненко, 2011

параметрами радіального, осьового та торцевого биття окремих його елементів [2, 3].

В роботі [4] запропонований варіаційний підхід до аналізу точності верстатів, надані загальні рекомендації до розрахунку вихідної точності шпindelних вузлів. Аналіз вихідної точності шпindelних вузлів, зокрема на ГСП, на основі інтегральних показників, що визначаються траєкторіями руху опорних точок шпинделя, докладно розглянутий в роботах [1, 5]. Там же відмічається перспективність застосування гідростатичного мащення шпindelних вузлів для прецизійної обробки деталей.

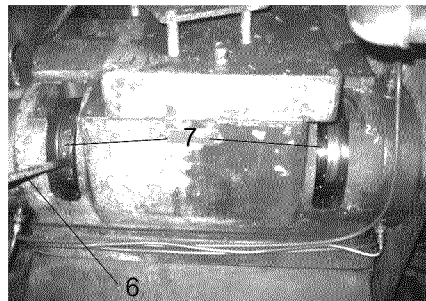
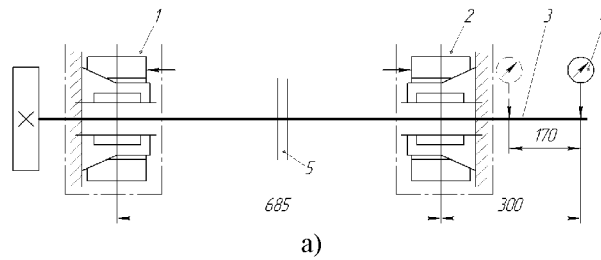
Авторами роботи [6] відзначається, що керування вихідними параметрами шпindelних ГСП дозволяє істотно підвищити точність обертання шпинделя під навантаженням з боку процесу різання. Проте, незважаючи на накопичений досвід, задача підвищення точності шпindelних вузлів засобами адаптованими до промислових умов не вирішена і є актуальною для сучасного машинобудування.

Метою роботи є визначення експериментальним шляхом ефективності застосування модернізованої конструкції шпindelного вузла на керованих ГСП для підвищення точності тоцекруглошліфувального верстата 3Т161.

Експериментальні дослідження характеристик точності здійснювали на базі торцекруглошліфувального верстата моделі 3Т161 з модернізованою конструкцією шліфувальної бабки (рис. 1) з регульованими радіальними ГСП шпинделя. Шліфувальний шпиндель, встановлений на двох радіальних ГСП (рис. 2, а) з можливістю регулювання статичної величини радіального зазору δ_0 в процесі налагодження верстата та опорному нерегульованому гідродинамічному підшипнику.

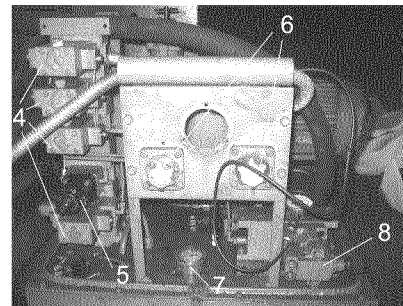
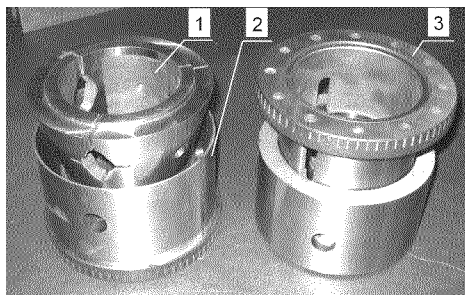
Регулювання зазору δ_0 виконують обертанням гайки 3 (див. рис. 2, а) на кут α , яка упираючись в торець корпуса підшипника надає зворотно-поступального руху гідростатичній втулці 1, пелюстки якої зовнішньою конічною поверхнею, рухаючись по внутрішній конічній поверхні втулки 2, зменшують (збільшують) робочий отвір між шпинделем і втулкою 1, тобто здійснюється регулювання статичного зазору δ_0 в ГСП. Докладно процес регулювання та конструкція шпиндельних підшипників викладені в монографії [6].

Для мащення опорних вузлів шліфувального шпинделя розроблена принципова гідравлічна схема та складений експериментальний зразок системи живлення (рис. 2, б).



1 – задній підшипник, 2 – передній підшипник, 3 – шпиндель, 4 – індикатор, 5 – упорний підшипник;
6 – ключ для регулювання зазору; 7 – гайки підшипників

Рисунок 1 – Принципова схема а) та загальний вигляд б) шліфувальної бабки з регульованими ГСП



1 – гідростатична втулка; 2 – конічна втулка; 3 – гайка; 4 – голчасті дроселі із зворотними клапанами;
5 – регулятор витрати рідини; 6 – перемикачі потоків на манометр; 7 – манометр; 8 – запобіжний клапан

Рисунок 2 – Загальний вигляд а) експериментальних зразків регульованих радіальних ГСП та гідравлічної станції б) системи живлення

Точність шліфувального верстата оцінювалася показниками статичної жорсткості та радіального биття кінця, що базує, шліфувального шпинделя під абразивний круг. Радіальне биття кінця шліфувального шпинделя вимірювалося відповідно до рекомендацій [7, п. 2.18] за методикою [3, розділ 15, метод 1]. У

відповідності до схеми вимірювання рис. 3, а складалася експериментальна установка, наведена на рис. 3, б.

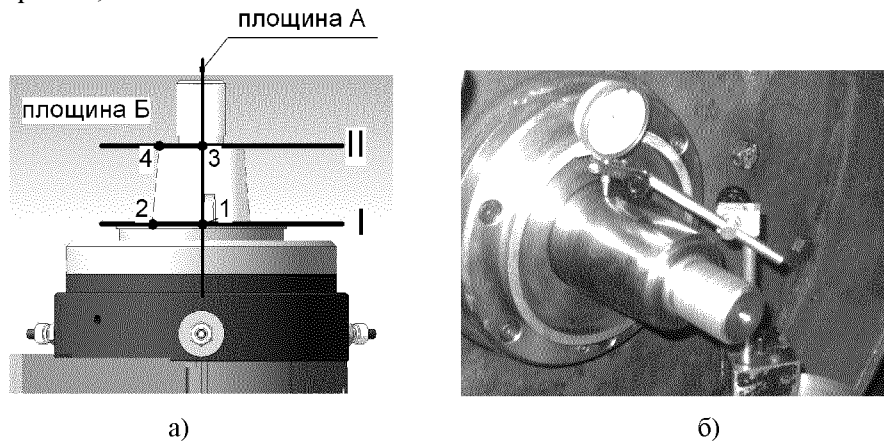


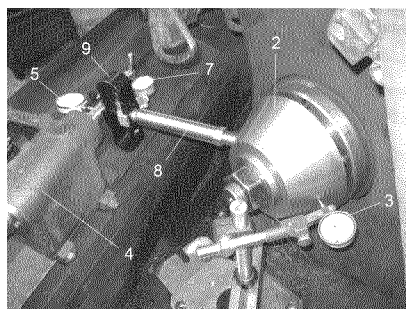
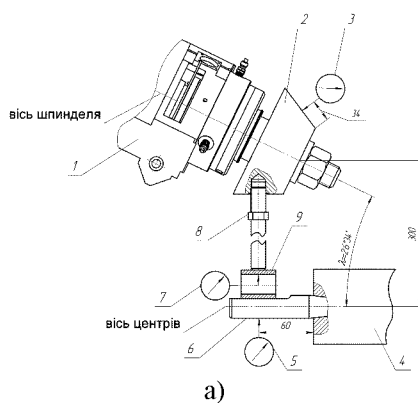
Рисунок 3 – Загальна схема вимірювання радіального биття а) кінця шліфувального шпинделя та встановлення індикатора в точці 1 б)

Виміри радіального биття здійснювали в двох поперечних перетинах I і II в двох ортогональних площинах А і Б. (див. рис. 3, а). Для виміру радіального биття поверхні (в точках встановлення приладу 1 – 4) шпиндель обертали в напрямку робочого руху на кут 360° і визначали алгебраїчну різницю показань індикатора. Для кожної експериментальної точки результат виміру повторювали три рази. Радіальне биття в перетинах I і II визначали як середньо арифметичне значення за показниками індикаторів в точках 1, 2 та 3, 4 відповідно. За радіальне биття кінця шпинделя приймали найбільшу величину, визначену в перетинах I і II.

Статична жорсткість верстата вимірювалася згідно рекомендацій [2] за методикою [7, додаток 2]. У відповідності до схеми на рис. 4, а складала експериментальну установку, представлену на рис. 4, б.

На конусі шліфувального шпинделя встановлювали спеціальну конічну оправку 2 з кутом нахилу конічної поверхні, що дорівнює куту λ розташування шліфувального шпинделя відносно лінії центрів. В конус пінолі задньої бабки 4 встановлювали оправку 6 з лискою, в яку упирався динамометр 9. У площині формоутворення за допомогою навантажувального пристрою 8 створювали плавно збільшуване навантаження, що визначалося за тарувальною характеристикою динамометру 9 та спрямовувалося за лінією, яка перетинає вісі центрів і шліфувального шпинделя.

Особливістю кінематики торцекруглошліфувального верстату є розташування шліфувального шпинделя під кутом до лінії центрів. При цьому напрямок виміру переміщень шпинделя розташований під кутом до лінії навантаження (див. рис. 4). Для забезпечення відповідності напрямків навантаження та виміру зміщень здійснювався перерахунок сил за напрямком вимірювання за залежністю $P = P_n \cdot \cos(2\lambda)$ з побудовою залежності $P = f(\xi)$, де P_n – навантаження на шпиндель за тарувальною характеристикою динамометра; ξ – зміщення шліфувального шпинделя за показниками індикатора 3.



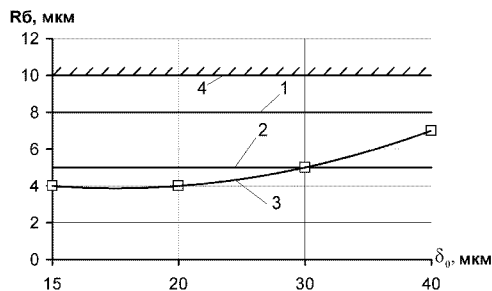
1 – шліфувальна бабка; 2 – конічна оправка; 3, 5, 7 – індикатори годинникового типу; 4 – задня бабка;
6 – оправка з конічним хвостовиком; 8 – навантажувальний пристрій; 9 – динамометр

Рисунок 4 – Схема а) та загальний вигляд експериментального устаткування б) для вимірювання статичної жорсткості верстата

Відносне зміщення шліфувального шпинделя та пінолі задньої бабки фіксували за показниками індикаторів 5 і 3. Величину зміщення визначали як середньоарифметичне значення двох вимірів при фіксованому навантаженні. За відносне зміщення приймали суму пружних відхилень шліфувального шпинделя та пінолі при відповідності $P_n = P(\xi)$.

В процесі експерименту обертанням гайки регульованого ГСП за допомогою спеціального ключа (див. рис. 1, б) змінювався радіальний статичний зазор δ_0 в кожній опорі шліфувального шпинделя. Відповідність кута повороту гайки і статичного зазору встановлювалася попереднім налагодженням з нанесенням відповідних позначок на корпусі шліфувальної бабки і гайках передньої та задньої опор шпинделя.

З метою оцінювання точності обертання шліфувального шпинделя проводили серію дослідів з визначення радіального биття його переднього кінця (рис. 5). Зменшення величини зазору δ_0 в ГСП дозволило підвищити точність обертання шпинделя (в статичному положенні) в радіальному напрямку шляхом зменшення рівня радіального биття на 3 мкм (див. криву 3 на рис. 5), а в порівнянні з базовою конструкцією верстата з гідродинамічними опорами шпинделя – в 2 рази.

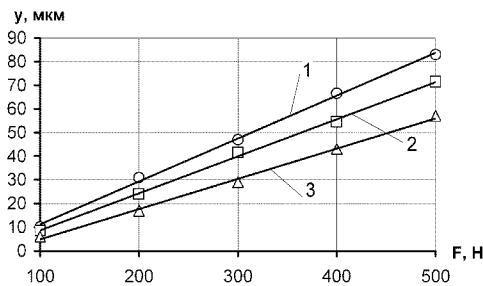


1 - Rб шпинделя базової моделі верстата [8]; 2 - Rб шпинделя для верстатів класу точності П [7]; 3 - Rб шпинделя на регульованих ГСП; 4 – припустима величина Rб шпинделя для базової моделі верстата [8]

Рисунок 5 – Радіальне биття Rб переднього кінця шліфувального шпинделя під круг в процесі регулювання радіального зазору δ_0 в ГСП

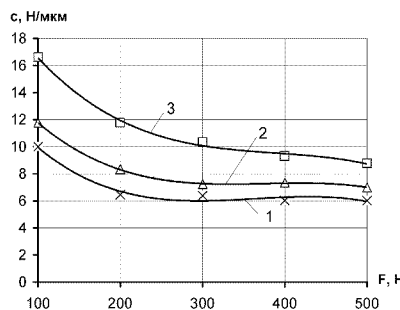
Встановлено, що регулюванням зазору в ГСП вдалося підвищити клас точності верстата за вимогами радіального биття до переднього кінця шліфувального шпинделя. Як видно з рис. 5 величина Rб для значень зазору $\delta_0 \leq 30$ мкм відповідає класу точності П верстатів шліфувальної групи [7].

Однією з основних характеристик шліфувальних верстатів з точки зору формування точності механічної обробки є статична жорсткість. На рис. 6, 7 приведені характеристики відносних зміщень та жорсткості верстата в площині формоутворення, з яких видно, що при зменшенні радіального зазору в ГСП шліфувального шпинделя величина статичної жорсткості підвищується у всьому діапазоні регулювання.



1 – $\delta_0=40$ мкм; 2 – $\delta_0=30$ мкм; 3 – $\delta_0=20$ мкм

Рисунок 6 – Переміщення у шліфувального шпинделя на регульованих ГСП відносно пінолі задньої бабки під навантаженням F

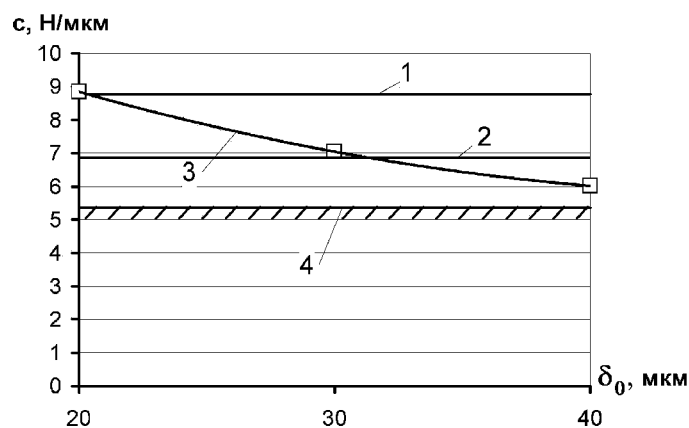


1 – $\delta_0=40$ мкм; 2 – $\delta_0=30$ мкм; 3 – $\delta_0=20$ мкм

Рисунок 7 – Статична жорсткість c верстата 3Т161 на регульованих шпиндельних ГСП у функції навантаження F

Статична жорсткість модернізованої конструкції верстата 3Т161 визначається в діапазоні розрахункових навантажень, насамперед, податливістю шліфувального шпинделя у власних опорах. Максимальні значення жорсткості c мають місце в діапазоні менших навантажень, що відповідає робочим процесам в ГСП, які забезпечують максимальну жорсткість при центрованому положенні шпинделя.

В процесі регулювання конструктивними параметрами шпиндельних ГСП встановлено, що жорсткість модернізованої конструкції верстата 3Т161 відповідає вимогам класу точності П, В в діапазоні значень $\delta_0 \leq 30$ мкм (рис. 8). Для величин регульованого зазору $\delta_0 \approx 20$ мкм за показником жорсткості верстат задовольняє вимогам класу точності А.



1 – припустиме значення жорсткості для класу точності верстатів А [7]; 2 - припустиме значення жорсткості для класу точності верстатів П, В [7]; 3 – жорсткість верстата на регульованих ГСП; 4 – припустиме значення жорсткості для базової моделі верстата [8]

Рисунок 8 – Статична жорсткість c верстата ЗТ161 в процесі регулювання зазору δ_0 в ГСП шпинделя

Отримані експериментальні значення радіального биття конуса шпинделя, що базує, та статичної жорсткості шліфувального верстату в функції статичного радіального зазору в регульованих гідростатичних підшипниках шліфувальної бабки. Встановлено, що регулювання геометрією зазору в радіальних ГСП шліфувального шпинделя дозволило підвищити точність торцекруглошліфувального верстата ЗТ161 за радіальним биттям конуса шпинделя під абразивний круг до класу П; за вимогами статичної жорсткості – до класу А.

Застосування регульованої конструкції гідростатичних опорних вузлів шпинделя може бути використано для підвищення точності металообробного обладнання широкої номенклатури.

Список літератури

1. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А.В. Пуш. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.
2. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность: ГОСТ 8-82. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 12 с.
3. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров: ГОСТ 22267-76. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 149 с.
4. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
5. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1985. – 288 с.
6. Регульовані гідростатичні підшипники для шпиндельних вузлів / Ю.О. Сахно, Д.Ю. Федориненко, С.В. Бойко, В.С. Волик. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2009. – 172 с.
7. Станки круглошлифовальные. Основные параметры и размеры. Нормы точности: ГОСТ 11654-90. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 36 с.
8. Станок торцекруглошлифовальный модели ЗТ161. Руководство к станку. – Х.: ХСЗ, 1968. – 80 с.

Д. Федориненко

Експериментальні показателі точності шліфувального станка з регульованими шпиндельними гідростатичними підшипниками

Определены экспериментальные показатели радиального биения базировочного конуса шпинделя, статической жесткости шлифовального станка с регулируемым радиальными гидростатическими подшипниками шлифовального шпинделя

D. Fedorynenko

Experimental indexes of grinding machine exactness are with the spindle regulabled hydrostatical bearings

The experimental indexes of the radial beating of spindle cone which bases are definition, static stiffness of grinding machine with the regulabled radial hydrostatical bearings of grinding spindle

Одержано 30.03.11