

Выводы и рекомендации. Проектирование изделий машиностроения с учетом жизненного цикла позволяет существенно повысить надежность эксплуатации изделия, в частности одно из свойств надежности – долговечность. Этого можно достичь использованием на этапе технологической подготовки производства, изготовления и испытания изделий комбинированных методов обработки. Рациональный выбор маршрута обработки детали с применением ориентированных графов позволит снизить трудоемкость и себестоимость выпускаемой продукции машиностроительного производства.

Список использованных источников

1. *Информационная* поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ИПИ : учеб. пособие / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов, А. Д. Никифоров. – М. : Академия, 2007. – 304 с.
2. *Скворцов А. В.* Основы технологии автоматизированных машиностроительных производств / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2010. – 589 с.
3. *Эдигаров В. Р.* Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения / В. Р. Эдигаров, И. Ю. Килунин, В. В. Дегтярь // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – № 3. – С. 32–35.
4. *Направленное* формирование свойств изделий машиностроения / под ред. А. И. Кондакова. – М. : Машиностроение, 2005. – 352 с.
5. *Формирование* регулярной дискретной структуры при чистовом точении с импульсным током / С. В. Ковалевский, В. И. Тулупов, А. А. Попивненко, Ю. Б. Борисенко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2007. – Вип. 21. – С. 233–237.

УДК 621.941-229.3:621.822.172

С.П. Сапон, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ ЗІ ШПИНДЕЛЕМ НА ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ

С.П. Сапон, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ СО ШПИНДЕЛЕМ НА ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОРАХ

Serhii Sapon, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE RESEARCH OF A MACHINING ACCURACY ON TURNING LATHE WITH SPINDLE ON HYDROSTATIC BEARINGS

Основним вихідним параметром якості верстата є точність, яка визначається кількома групами показників, одним з яких є точність оброблення зразків-виробів. У роботі досліджено закономірності формування точності оброблення на прецизійному токарному верстаті за показником точності форми зовнішньої циліндричної поверхні зразків-виробів. Отримано аналітичну залежність відхилення від круглості поверхні зразків-виробів при токарному обробленні від тиску мастила в гідростатичній опорі шпинделя, режимів різання за наявності статичного дисбалансу обертових елементів шпиндельного вузла. Адекватність встановленої аналітичної залежності підтверджена серією повторних експериментів. Здійснено аналіз встановлених закономірностей впливу експлуатаційних параметрів гідростатичної опори шпинделя та технологічних навантажень на формування точності верстата за показником точності форми зразків-виробів.

Ключові слова: шпиндель, гідростатична опора, точність, відхилення від круглості, зразок-виріб.

Основным исходным параметром качества станка является точность, которая определяется несколькими группами показателей, одним из которых является точность обработки образцов-изделий. В работе исследованы закономерности формирования точности обработки на прецизионном токарном станке по показателю точности формы внешней цилиндрической поверхности образцов-изделий. Получена аналитическая зависимость отклонения от круглостности поверхности образцов-изделий при токарной обработке от давления масла в гидростатической опоре шпинделя, режимов резания при наличии статического дисбаланса вращающихся элементов шпиндельного узла. Адекватность

виявленої аналітичної залежності підтверджена серією повторних експериментів. Проведен аналіз установлених закономірностей впливу експлуатаційних параметрів гідростатическої опори шпинделя і технологічних нагрузок на формування точності станка по показателю точності форми образців-изделий.

Ключевые слова: шпиндель, гидростатическая опора, точность, отклонение от круглости, образец-изделие.

The main output parameter of the quality machine tools is accuracy which is determined by several groups of indicators, one of which is the accuracy of the sample processing-products. In present paper were investigated the laws of formation machining accuracy on a precision lathe in terms of accuracy form the outer cylindrical surface of the sample-products. The analytical dependence of deviation from roundness samples surface-products for lathe machining from the oil pressure in the hydrostatic bearing, spindle cutting conditions at presence static unbalance of rotating elements of the spindle knot was obtained. The adequacy of the identified analytical laws is confirmed by a series of repeated experiments. The analysis established laws of influence of operational parameters of the hydrostatic bearing spindle and technological pressures on the formation of machine accuracy in terms of precision form of sample-products was performed.

Key words: spindle, hydrostatic bearing, accuracy, deviation from roundness, sample-product.

Постановка проблеми. Одним з найважливіших завдань сучасного машинобудування є забезпечення точності, надійності, продуктивності та економічності металообробного обладнання та процесів оброблення, що реалізуються на ньому. Основним вихідним параметром якості верстата, як елемента технологічної системи, є точність, яка визначається трьома групами показників [10]: показники геометричної точності, показники точності оброблення зразків-виробів, додаткові показники. Шпиндельний вузол (ШВ) є одним з найбільш відповідальних формоутворюючих вузлів, параметри якого суттєво впливають на вихідні показники точності верстата. Значною мірою вихідні показники точності ШВ залежать від типу шпиндельних опор. Як шпиндельні опори верстатів для прецизійного і високошвидкісного оброблення, а також у важких і унікальних верстатах широко використовуються гідростатичні підшипники (ГСП), особливою відмінністю яких є можливість керування вихідними параметрами опор: жорсткістю, демпфуванням, точністю. Встановлення закономірностей формування показників точності ШВ є актуальним науковим завданням, вирішення якого дозволить підвищити якість верстатів та розширити їх технологічні можливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів ШВ на гідростатичних опорах (ГСО) на точність оброблення присвячені роботи багатьох учених. Вплив регулювання зазором у ГСО на показники точності оброблених деталей досліджено в монографії [13]. У роботі О.Ф. Гордєєва [1] відображено вплив зазору в ГСО на відхилення від круглості оброблених зразків. У монографії [4] встановлено, що під час оброблення на токарному верстаті з ГСО шпинделя з підвищенням частоти обертання внаслідок зростання гідродинамічної піднімальної сили знижується похибка форми оброблюваних заготовок. Проте не зазначено, який характер матиме ця залежність під час оброблення заготовок з конструктивно обумовленою невірноваженістю. Дослідження робочих процесів, що виникають під час обертання невірноваженого шпинделя на ГСО, виконані в роботах Є.Ю. Сахна. Зокрема, в роботі [6] наведено математичну модель формування поверхні невірноваженої деталі, а в роботах [7; 12] досліджено вплив технологічного дисбалансу на шорсткість та відхилення від круглості поверхні деталі. Показано, що з підвищенням частоти обертання шпинделя параметри шорсткості та некруглості обробленої поверхні деталі з дисбалансом зростають, причому зростання некруглості відбувається більш інтенсивно, що пояснюється збільшенням амплітуди радіальних коливань невірноваженої заготовки внаслідок збільшення відцентрових сил при підвищенні кутової швидкості обертання шпинделя.

Невирішені частини проблеми. Слід відзначити, що наявні на сьогодні дослідження характеризуються встановленням впливу окремих експлуатаційних, конструктивних параметрів шпиндельних ГСО, технологічних навантажень на точність оброблення. Проте в реальних умовах експлуатації на металорізальний верстат у цілому і ШВ зокрема названі фактори діють одночасно, зумовлюючи відхилення показників точності. Тому об'єктивно оцінити вихідні показники точності шпиндельного вузла можна, лише

врахувавши весь комплекс факторів, які одночасно діють на шпиндельний вузол. У наявних літературних джерелах не виявлено вплив тиску в карманах ГСО на точність оброблення, лише констатується необхідність забезпечення максимального тиску в карманах для підвищення несучої здатності та жорсткості опор. Тому дослідження, спрямовані на виявлення закономірностей формування показників точності ШВ з одночасним урахуванням експлуатаційних параметрів шпиндельних ГСО та технологічних навантажень, є актуальним науковим завданням.

Метою роботи є встановлення закономірності формування геометричної точності токарного верстата з ГСО шпинделя за показником точності геометричної форми зразків-виробів залежно від тиску мастила в карманах ГСО шпинделя, режимів різання, статичного дисбалансу обертових елементів ШВ.

Виклад основного матеріалу. Встановлення закономірностей формування точності верстата за показником точності форми зразків-виробів залежно від експлуатаційних параметрів ГСО шпинделя та технологічних навантажень здійснювалось за планом багатофакторного експерименту. Параметром оптимізації є відхилення від круглості оброблених поверхонь зразків-виробів, як один із стандартизованих показників точності верстата [9], а факторами, що впливають на параметр оптимізації, є: режими різання (подача S , частота обертання шпинделя n , глибина різання t), стичний дисбаланс D_{cm} та тиск p у карманах ГСО шпинделя. Дослідження проводились з використанням інформаційно-вимірального комплексу засобів експериментальних досліджень, детально описаного у роботі [5], за методикою, структура якої показана на рис. 1.

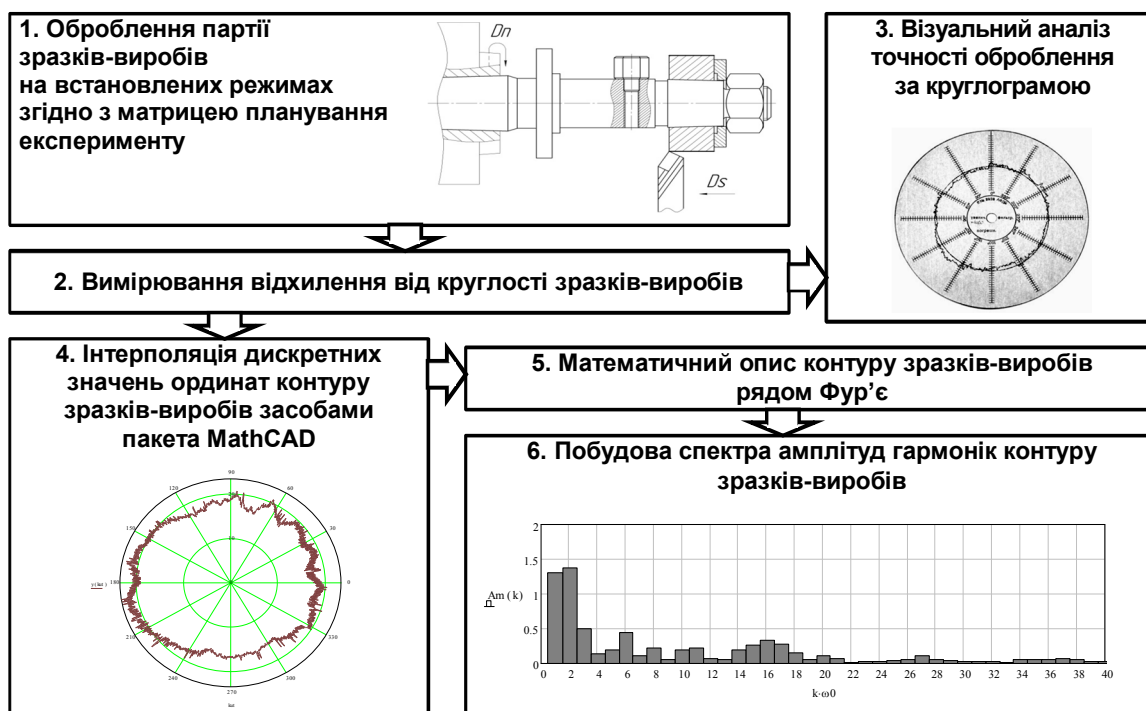


Рис. 1. Структура методики дослідження точності шпиндельного вузла за показником точності форми зразків-виробів

Оброблення партії зразків-виробів (рис. 2), виготовлених зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 в однакових умовах відповідно до вимог стандарту [8], без термообробки, здійснювалась на прецизійному токарному верстаті УТ16А відповідно до рекомендацій стандарту [11]. Заготовки закріплювались на конічній поверхні прецизійної оправки (рис. 3). Оброблення здійснювали токарним прохідним прямим різцем з пластиною з твердого сплаву Т15К6, з кутами $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 10^\circ$.

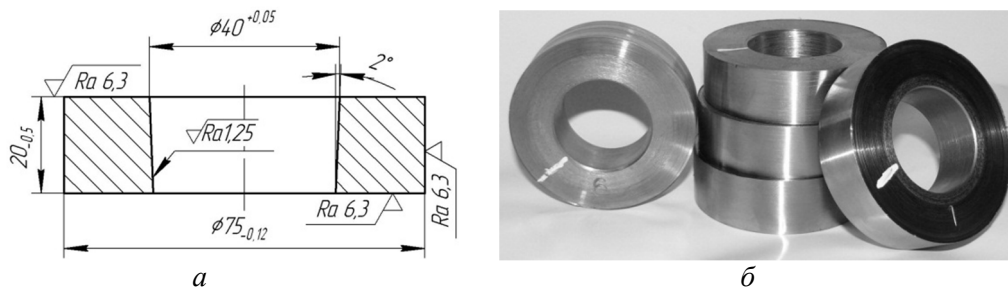


Рис. 2. Ескіз (а) та загальний вигляд (б) дослідних зразків-виробів

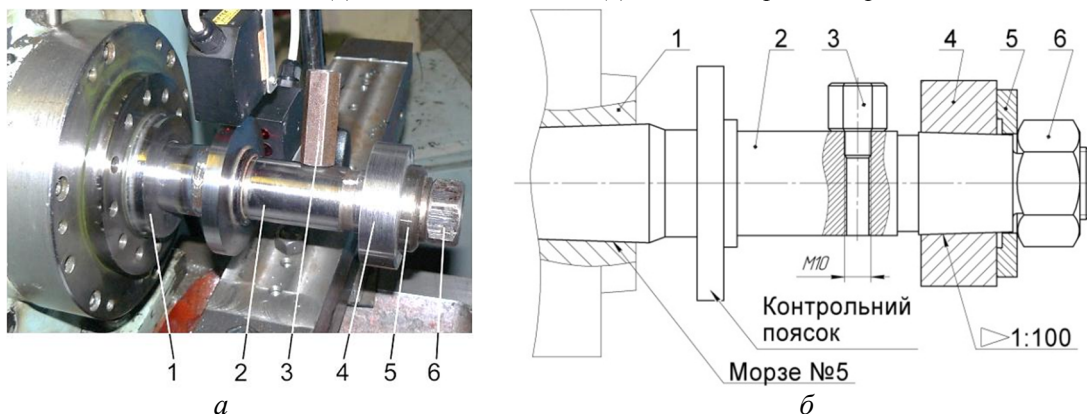


Рис. 3. До опису конструкції та схеми закріплення прецизійної оправки:

1 – шпиндель; 2 – прецизійна оправка; 3 – змінний вантаж; 4 – зразок-виріб; 5 – шайба; 6 – гайка

Вимірювання відхилення від круглості партії оброблених зразків-виробів здійснювалось на вимірювальному комплексі на базі кругломіра моделі 298. Зразки-вироби 3 (рис. 4) встановлювали на конічну оправку 2, закріплену на столі 1 кругломіра. Проводилося попереднє налагодження приладу в ручному режимі, для чого здійснювалися по чергово процедури нівелювання та центрування досліджуваного зразка-виробу 3 у двох перпендикулярних площинах з контролем відхилень за шкалами приладу 4. Після цього відбувалося вимірювання відхилень від круглості зовнішньої циліндричної поверхні у п'яти поперечних перерізах по довжині зразка-виробу (рис. 4, а). Одночасно здійснювався запис круглограм у масштабі 1000:1 та відхилень радіальної координати контуру поперечного перерізу зразка в кодах АЦП для наступного цифрового оброблення.

Відхилення від круглості визначали як суму абсолютних значень найбільших відхилень точок реальної поверхні по обидва боки від середньої лінії профілю [3].

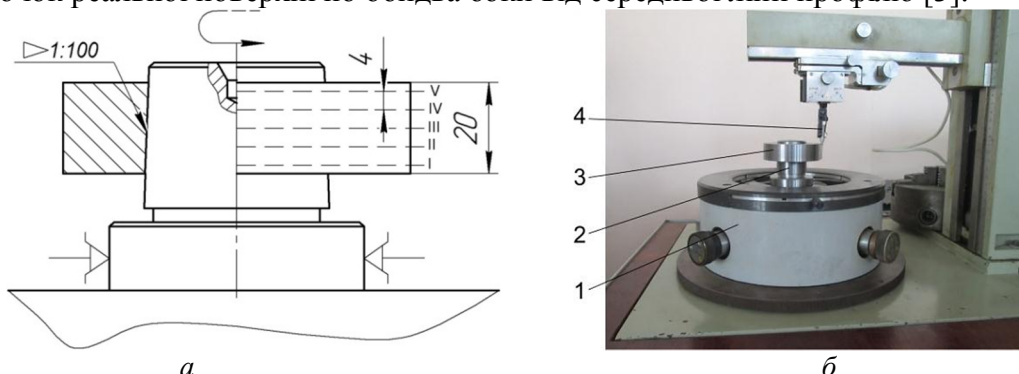


Рис. 4. Схема розташування поперечних перерізів по довжині зразка-виробу (а) та встановлення зразка-виробу (б) при вимірюванні відхилень від круглості на кругломірі моделі 298:

1 – стіл кругломіра; 2 – оправка; 3 – зразок-виріб; 4 – цуп

Статистичне оброблення результатів вимірювання здійснювалось за методикою [2]. Зазвичай, експеримент реалізований для виявлення оптимальних умов протікання процесу можна адекватно описати поліномом 2-го порядку, для чого незалежні фактори у

матриці планування повинні варіюватися мінімум на трьох рівнях [14]. За умови реалізації для обраного набору факторів трьохрівневого повного факторного експерименту типу 3^k необхідно виконати 243 експерименти, що є доволі трудомісткою задачею. Скоротити кількість експериментів можна, застосувавши композиційне ортогональне планування 2-го порядку. Загальна кількість експериментів у матриці композиційного планування 2-го порядку для п'яти факторів становить $N=27$ [14]. На додачу при композиційному плануванні проводяться експерименти в «зіркових точках», що дає змогу розширити інтервал варіювання факторів.

Інтервали варіювання, рівні та натуральні значення факторів наведено у табл. 1.

Таблица 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Інтервал варіювання і рівні факторів	Натуральні значення факторів				
	n, хв ⁻¹	S, мм/об	t, мм	D _{ст} , 10 ⁻⁶ кг·м	p, МПа
Інтервал варіювання	900	0,072	0,4	2150	1,0
Верхня «зіркова точка» (+1,414)	2770	0,23	1,4	7385	4,4
Верхній рівень (+1)	2400	0,2	1,2	6524	4,0
Нульовий рівень (0)	1500	0,128	0,8	4360	3,0
Нижній рівень (-1)	600	0,056	0,4	2219	2,0
Нижня «зіркова точка» (-1,414)	230	0,026	0,2	1303	1,6

У загальному випадку під час планування експерименту методом ортогонального планування 2-го порядку при варіюванні n-факторами математична модель має вигляд [14]:

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_0' + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії.

Коефіцієнти рівняння регресії при ортогональному плануванні 2-го порядку визначають за формулами [14]:

$$b_0' = \frac{1}{N} \sum_{g=1}^N \bar{y}_g - \sum_{g=1}^N b_{ig} \frac{x_{ig}^2}{N}, \quad (2)$$

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{ig} \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N x_{ig}^2}, \quad b_{ij} = \frac{\sum_{g=1}^N x_{ig} \cdot x_{jg} \cdot \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N (x_{ig} \cdot x_{jg})^2}, \quad b_{ii} = \frac{\sum_{g=1}^N x_{ig}^2 \cdot \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N x_{ig}^2}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де g та N – номер та кількість серій експериментів відповідно;

i та n – порядковий номер та кількість факторів відповідно, $i = 1, 2, \dots, n$;

\bar{y}_g – математичне сподівання результатів g -тої серії експериментів.

Статистичний аналіз результатів експерименту здійснювався за типовою методикою [14] і складається з таких етапів:

- оцінювання дисперсії відтворюваності експерименту;
- оцінювання значущості коефіцієнтів рівняння регресії;
- оцінювання адекватності моделі.

Оцінювання дисперсії відтворюваності експерименту здійснювали за критерієм Кохрена, в результаті встановлено, що $G_{табл} = 0,138 > 0,075 = G_{розр}$, тобто відтворюваність результатів експерименту визнається.

Оцінювання значущості коефіцієнтів рівняння регресії здійснювали за t – критерієм Стьюдента. Коефіцієнти рівняння регресії, які визнано незначними, в рівнянні регресії

прирівняні до нуля. Після переведення кодованих значень факторів у натуральні та здійснення серії алгебраїчних перетворень отримали математичну модель, що визначає залежність відхилення від круглості оброблених зразків-виробів від режимів різання, тиску в ГСО шпинделя та статичного дисбалансу під час токарного оброблення:

$$\begin{aligned} \Delta_{кр} = & 22,56 + 2,12 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 1,51p^2 - 3,04 \cdot t + \\ & + 2,51 \cdot S - 1,175 \cdot 10^{-4} \cdot D_{ст} - 7,62 \cdot p - 4,95 \cdot 10^{-3} \cdot n + \\ & + 4,46 \cdot 10^{-3} D_{ст} \cdot S - 7,76 \cdot S \cdot p + 19,72 \cdot S \cdot t + 1,067 \cdot p \cdot t. \end{aligned} \quad (4)$$

Перевірка за критерієм Фішера підтвердила адекватність отриманої математичної моделі: з довірчою ймовірністю 0,95 розраховане значення критерію Фішера $F_{розр.} = 1,221$ не перевищує табличного $F_{табл.} = 1,763$.

З рівняння (4) за допомогою присвоєння певним складовим фіксованих значень, що відповідають нульовому рівню варіювання факторів (табл. 1), отримано залежності (рис. 5) відхилення від круглості зразків-виробів зі сталі 45, оброблених на токарному верстаті зі шпинделем на ГСО.

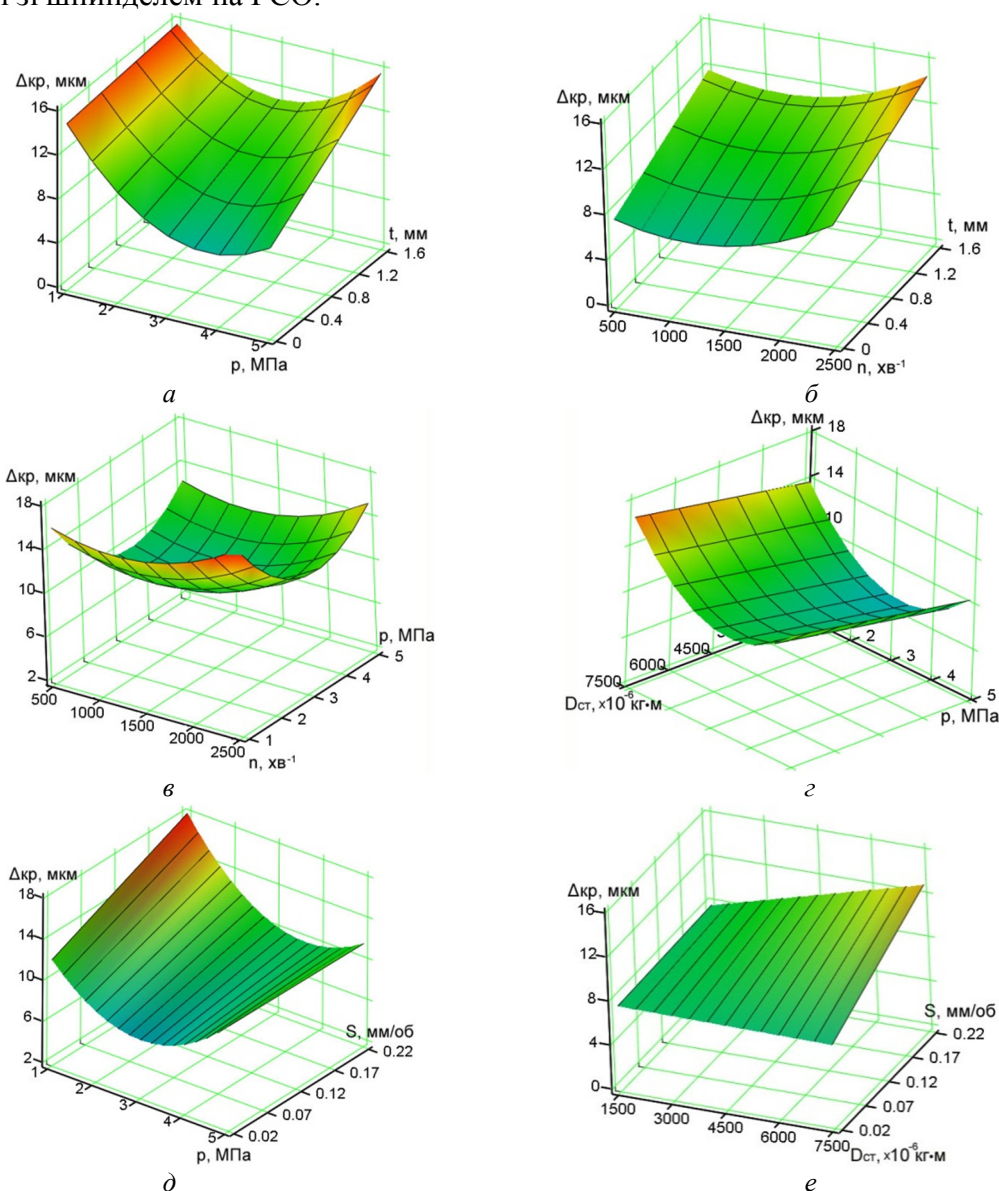


Рис. 5. Залежності відхилення від круглості поверхонь зразків-виробів від тиску в ГСО шпинделя, режимів різання та статичного дисбалансу

Аналізуючи наведені на рис. 5 графіки, можна зробити такі висновки: зі збільшенням глибини різання в усіх випадках спостерігається зростання відхилення від круглості оброблених поверхонь зразків-виробів. Це зумовлено головним чином зростанням зусилля різання, від якого прямо пропорційно залежать пружні деформації елементів технологічної обробляючої системи та віброактивність шпиндельного вузла.

Залежність відхилення від круглості від тиску в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя має екстремальний характер. При підвищенні частоти обертання шпинделя в діапазоні 500–1200 хв⁻¹ спостерігається зниження на 10 % некруглості оброблених поверхонь зразків-виробів, що пояснюється зниженням величини сили різання при збільшенні швидкості різання V . При подальшому підвищенні частоти обертання шпинделя до 2500 хв⁻¹ некруглості зразків-виробів на 45–80 % зростає порівняно з мінімальним значенням, що пояснюється зростанням впливу відцентрової сили інерції, зумовленої наявністю статичного дисбалансу на фоні подальшого зменшення величини складових сили різання. Ця сила пропорційна квадрату кутової швидкості ω обертання шпинделя, що обумовлює відповідне збільшення ексцентриситету обертання шпинделя та віброактивності ШВ.

При підвищенні тиску мастила в карманах ГСО шпинделя в діапазоні від 1,5 до 3–3,5 МПа спостерігається зниження в 1,2–1,5 рази відхилення від круглості оброблених зразків-виробів, подальше збільшення тиску до 4,5–5 МПа приводить до зростання на 20–30 % некруглості оброблених зразків-виробів. Зростання відхилення від круглості при малих значеннях тиску в карманах ГСО обумовлено недостатньою жорсткістю, а при збільшенні тиску – навпаки, надмірною жорсткістю та зниженням демпфуючих властивостей мастильного шару. Зі зменшенням глибини різання оптимальна величина тиску в карманах ГСО, за якої досягається найменше значення відхилення від круглості оброблених зразків, зростає (рис. 5, а). Зі зростанням тиску в карманах ГСО вплив подачі на відхилення від круглості зменшується і при величині тиску 4,5–5 МПа на відхилення від круглості подача на оберт майже не впливає (рис. 5, б). При сталій частоті обертання шпинделя та мінімальних величинах глибини різання і подачі на оберт, що відповідають чистому обробленню, збільшення статичного дисбалансу на відхилення від круглості оброблених зразків-виробів практично не впливає (рис. 5, в).

З метою експериментальної оцінки адекватності отриманої аналітичної залежності відхилення від круглості поверхонь зразків-виробів від тиску в ГСО шпинделя, режимів різання та статичного дисбалансу здійснено серію повторних експериментів. Метою цієї серії експериментів було експериментальне підтвердження, передусім, впливу тиску в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя на відхилення від круглості зовнішньої циліндричної поверхні зразків-виробів під час токарного оброблення.

Під час проведення серії експериментів з метою детального дослідження впливу тиску в карманах ГСО на відхилення від круглості зразків-виробів тиск у карманах ГСО варіювався в межах від 2 до 4,5 МПа з інтервалом 0,5 МПа. Оброблення зразків-виробів Ø72 мм (див. рис. 2) зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 здійснювали токарним прохідним прямим різцем з пластиною з твердого сплаву Т15К6, з кутами $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 10^\circ$ при постійних режимах різання ($n=1500$ хв⁻¹, $t=0,6$ мм, $S_0=0,115$ мм/об), статичному дисбалансі $D_{ст}=4360 \cdot 10^{-6}$ кг·м, температурі мастила $T=25 \pm 2$ °С. Дослідження впливу частоти обертання шпинделя на відхилення від круглості зразків-виробів здійснювалось у діапазоні частот $n=600$ – 2400 хв⁻¹ з інтервалом 300 хв⁻¹, при постійному тиску мастила в карманах ГСО $p_k=3$ МПа. Глибина різання і подача, статичний дисбаланс та температура мастила були аналогічні експерименту з варіюванням тиску в карманах ГСО. У кожній серії повторних експериментів при однакових, фіксованих значеннях тиску та частоти обертання шпинделя здійснювалось оброблення трьох зразків-виробів.

За результатами експериментальних досліджень встановлено залежності (рис. 6), якісне порівняння яких із залежностями, отриманими методом ортогонального планування 2-го порядку (рис. 5), свідчить про їх схожість. Розбіжність між теоретичними та експериментальними даними відхилення від круглості зразків-виробів під час регулювання тиску в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя коливається в межах від 4,3 до 25,7 % при відносній похибці вимірювання в межах 13,1 %.

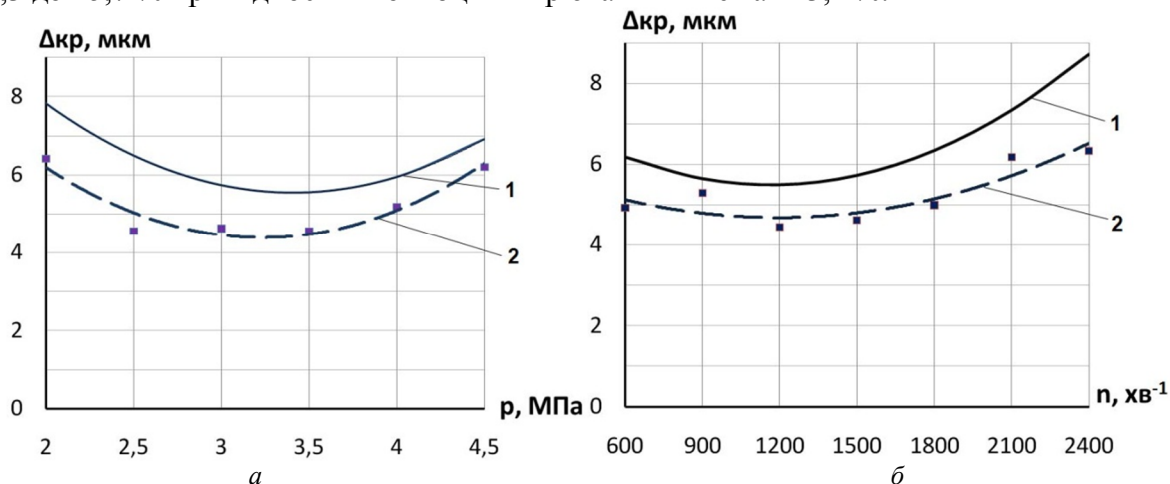


Рис. 6. Вплив тиску в карманах ГСО шпинделя (а) та частоти обертання шпинделя (б) на відхилення від круглості зразків-виробів: 1 – залежності, отримані за математичною моделлю; 2 – експериментальні залежності

З метою кількісного оцінювання взаємозв'язку між отриманими залежностями обчислили коефіцієнт парної кореляції [2] між масивами значень відхилень від круглості, отриманих за аналітичною залежністю та експериментальним шляхом:

$$r_{\Delta_{кр1}, \Delta_{кр2}} = \frac{\sum_{i=1}^N (\Delta_{кр1i} - \overline{\Delta_{кр1}})(\Delta_{кр2i} - \overline{\Delta_{кр2}})}{N \cdot S_{\Delta_{кр1}} S_{\Delta_{кр2}}}, \tag{5}$$

де $\Delta_{кр1i}, \Delta_{кр2i}$ – порівнювані значення відхилення від круглості;

$\overline{\Delta_{кр1}}, \overline{\Delta_{кр2}}, S_{\Delta_{кр1}}, S_{\Delta_{кр2}}$ – відповідно математичні сподівання та СКВ значень відхилення від круглості у порівнюваних масивах;

N – кількість пар порівнюваних значень відхилення від круглості.

Достовірність коефіцієнта парної кореляції оцінювали за допомогою порівняння з величиною основної похибки Δ_r , яка визначається за формулою [2]:

$$\Delta_r = \pm \frac{1 - r_{\Delta_{кр1}, \Delta_{кр2}}^2}{\sqrt{N}}. \tag{6}$$

Забезпечення вимоги $\frac{r_{\Delta_{кр1}, \Delta_{кр2}}}{\Delta_r} > 4$ підтверджує достовірність визначення коефіцієнта парної кореляції [2].

Порівнювані масиви значень відхилень від круглості зразків-виробів, результати обчислення коефіцієнта парної кореляції та оцінювання його достовірності наведено в табл. 2.

Числові значення коефіцієнтів парної кореляції та їх достовірність кількісно свідчать про достатньо високий кореляційний зв'язок між експериментальними та аналітичними залежностями відхилення від круглості зразків-виробів від тиску мастила в карманах ГСО та частоти обертання шпинделя. Це підтверджує адекватність встановленої

аналітичної залежності (4) та можливість її використовувати під час розроблення практичних рекомендацій з вибору раціональних режимів різання та експлуатаційних параметрів ГСО шпинделя під час токарного оброблення.

Таблиця 2

До визначення кореляційного зв'язку експериментальних залежностей відхилення від круглості зразків-виробів

Частота обертання, n , хв^{-1}	n=var		Тиск у ГСО, $P_{\text{к}}$, МПа	p=var	
	Відхилення від круглості			Відхилення від круглості	
	Мат. модель $\Delta_{\text{кр}1}$, мкм	Експеримент $\Delta_{\text{кр}2}$, мкм		Мат. модель $\Delta_{\text{кр}1}$, мкм	Експеримент $\Delta_{\text{кр}2}$, мкм
600	6,09	4,94	2,00	7,39	6,42
900	5,54	5,30	2,50	6,06	4,56
1200	5,38	4,46	3,00	5,30	4,63
1500	5,60	4,63	3,50	5,12	4,56
1800	6,19	5,00	4,00	5,51	5,18
2100	7,17	6,18	4,50	6,48	6,20
2400	8,54	6,34			
Коефіцієнт кореляції $r_{\Delta_{\text{кр}1}, \Delta_{\text{кр}2}}^n = 0,895$			Коефіцієнт кореляції $r_{\Delta_{\text{кр}1}, \Delta_{\text{кр}2}}^p = 0,857$		
Похибка коефіцієнта кореляції $\Delta_r = 0,075$			Похибка коефіцієнта кореляції $\Delta_r = 0,108$		
$\frac{r_{\Delta_{\text{кр}1}, \Delta_{\text{кр}2}}^n}{\Delta_r} = \frac{0,895}{0,075} = 11,89 > 4$			$\frac{r_{\Delta_{\text{кр}1}, \Delta_{\text{кр}2}}^p}{\Delta_r} = \frac{0,857}{0,108} = 7,95 > 4$		
Достовірність підтверджується			Достовірність підтверджується		

Висновки. Вперше отримано аналітичну залежність відхилення від круглості поверхонь зразків-виробів під час токарного оброблення, яка дозволила встановити закономірності формування точності ШВ токарного верстата з ГСО шпинделя за показником точності форми зразків-виробів у поперечному перетині залежно від тиску мастила в карманах ГСО шпинделя, режимів різання за наявності статичного дисбалансу обертових елементів ШВ. Адекватність встановленої аналітичної залежності підтверджено експериментальним шляхом, що свідчить про можливість її використання під час розроблення практичних рекомендацій з вибору раціональних режимів різання та експлуатаційних параметрів ГСО шпинделя під час токарного оброблення.

Перспективним напрямком подальших досліджень є спектральний аналіз контуру оброблених поверхонь партій зразків-виробів та статистичне оброблення отриманих спектрів з метою виявлення закономірностей формування статистичних характеристик амплітуд суттєвих гармонік контуру зразків-виробів, оброблених при різних величинах експлуатаційних параметрів ГСО та технологічних навантажень.

Список використаних джерел

1. Гордеев А. Ф. Гидростатические шпиндельные подшипники / А. Ф. Гордеев, Ю. Н. Соколов // Станки и инструмент. – 1966. – № 7. – С. 14–17.
2. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я. Д. Колкер. – К. : Техника, 1976. – 200 с.
3. Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення : ДСТУ 2498-94. – Чинний від 1995–07–01. – К. : Держстандарт України, 1994. – 112 с.
4. Пуш А. В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш. – М. : Машиностроение, 1992. – 228 с.
5. Сапон С. П. Методика експериментального визначення точності обертання шпинделя / С. П. Сапон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 1(63). – С. 66–74.

6. Сахно Е. Ю. Механическая обработка неуравновешенных деталей инструментом с пластинками из СТМ / Е. Ю. Сахно, Д. Ю. Федориненко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2001. – № 2. – С. 78–81.

7. Сахно Є. Ю. Механічна обробка незрівноважених деталей на токарному верстаті з гідростатичними опорами / Є. Ю. Сахно, В. С. Волик // Вісник двигунобудування. – 2006. – № 2. – С. 129–133.

8. Станки металлорежущие. Образцы-изделия для проверки точности обработки. Общие технические требования : ГОСТ 25443-82. – Введ. 1982–09–09. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 5 с.

9. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность : ГОСТ 8-82. – Введ. 1983–07–01. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 11 с.

10. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров : ГОСТ 22267-76. – Введ. 1988–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 141 с.

11. Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности : ГОСТ 18097-93. – Введ. 1996–07–01. – М. : Издательство стандартов, 2005. – 24 с.

12. Струтинський В. Б. Автоматичне центрування незрівноважених роторів технологічних систем : монографія / В. Б. Струтинський, Є. Ю. Сахно. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2004. – 198 с.

13. Струтинський В. Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах : монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.

14. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Лёгкая индустрия, 1974. – 262 с.

УДК 621.914.3

О.О. Степаненко, канд. техн. наук

М.Ю. Манжола, аспірант

Ю.М. Кузнєцов, д-р техн. наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНУВАНЬ НАСТІЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТІВ З ЧПК НА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

А.А. Степаненко, канд. техн. наук

М.Ю. Манжола, аспірант

Ю.Н. Кузнєцов, д-р техн. наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНОВОК НАСТОЛЬНЫХ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Oleksandr Stepanenko, PhD in Technical Sciences

Maryna Manzhola, PhD student

Yurii Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF THE EFFECT OF CONFIGURATIONS OF DESKTOP CNC MILLING MACHINES ON THE QUALITY OF PROCESSING PARTS

Робота пов'язана з порівнянням оцінювання якості оброблення на верстатах різних конфігурацій. Для цього здійснено вимірювання серії зразків. У результаті цифрового оброблення даних аналого-цифрового перетворювача (АЦП) кругломіра та профілометра отримано круглограми та профілограми вимірюваних деталей. Проведено порівняння результатів вимірювань та визначено максимальну величину амплітуди мікронерівностей профілю кожної деталі. Під час порівняння трьох конфігурацій верстатів було враховано середньоарифметичну величину амплітуди мікронерівностей для кожної групи деталей (за матеріалом і формою поверхні). Отримані результати досліджень дають уявлення про вплив конфігурації верстата на якість оброблення деталей і дозволяють зробити раціональний вибір конфігураційних особливостей верстата на етапі виготовлення дослідного зразка.

Ключові слова: якість оброблення деталей, конфігурація верстата, механізми паралельної структури, каркасна несуча система.

Робота зв'язана з сравнением оценки качества обработки на станках различных компоновок. Для этого осуществлены измерения серии образцов. В результате цифровой обработки данных аналого-цифрового преобразователя