крытия. – 2011. – № 6. – С. 8–14. – ISSN 1813-1336.

5. Ageeva E.V. Properties and Characterizations of Powders Produced from Waste Carbides / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, A.S. Osminina // Journal of nano- and electronic physics. – 2013. – Vol. 5. - № 4.– P. 04038-1–04038-2.

6. Агеев, Е.В. Получение, исследование и практическое применение износостойких порошковых материалов из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов [Текст] / Е.В. Агеев // Технология металлов. − 2012. −№. 9. − С. 36–45.

7. Агеев Е.В. Получение порошков из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев // Электрометаллургия. – 2011. – № 10. – С. 24–27. – ISSN 1684-5781.

8. Агеев Е.В. Форма и морфология поверхности частиц порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердых сплавов, содержащих вольфрам / Е.В. Агеев // Технология металлов. − 2011. − № 7. − С. 30–32. – ISSN 0131-2499.

9. Патент 2449859, Российская Федерация, С2, B22F9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е.В.; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. – № 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. – 4 с.

10. Агеев Е.В. Разработка оборудования и технологии для получения порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов, пригодных к промышленному использованию / Е.В. Агеев, Е.В. Агеева // Вестник машиностроения. – 2013. – № 11.– С. 51–57.

**Работа выполнена по теме гранта Президента Российской Федерации № МК-1765.2013.8.*

У статті представлені результати рентгеноспектрального мікроаналізу порошку, напівченного з відходів інструментальних швидкорізальних сталей електроерозійним диспергуванням в дистильованої воді. Показано, що основними елементами у порошку, отриманому методом електроерозійного диспергування інструментальної швидкорізальної марки Р6М5 в дистильованої воді, є залізо, вуглець і вольфрам.

Ключові слова: *відходи швидкорізальних сталей, електроерозійне диспергування, порошок, рентгеноспектральний мікроаналіз*

The article presents the results of powder X-ray microanalysis of waste-derived high-speed steel tools electroerosive dispersing in distilled water. It is shown that the basic elements of the powder obtained by spark-speed dispersion tool brand R6M5 in distilled water are iron, carbon and tungsten.

Keywords*: waste-speed steels, EDM dispersion, a powder, X-ray microanalysis.*

Стаття надійшла в редакцію: 25.08.2013 р.
Рецензент: д.т.н., професор Тарельник В.Б.

УДК 621.914.1

ПАРАМЕТРИЧНА НАДІЙНІСТЬ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ПРИЦИЗІЙНИХ ВЕРСТАТІВ

С. Г. Бондарєв, к.т.н., доцент,
О. В. Рясна, асистент,
А. М. Ребрій, ст. викладач.,
І. О. Рибенко, ст. викладач
Сумський національний аграрний університет

Шпиндельні вузли цього типу мають підвищену стійкість до зовнішніх факторів, як зі сторони сил різання, так і з боку елементів верстата. Работа шпиндельного вузла при оптимальних технічних параметрах, які контролюються зі сторони ЕОМ, дозволяє отримати підвищену параметричну надійність вузла, і задану точність обробленої поверхні.

Ключові слова: *шпиндельні вузли, прецизійні верстати, параметрична надійність вузлів.*

Введення. Перспектива інтеграції України до європейського союзу супроводжується підвищеними вимогами до конкурентноспроможності продукції вітчизняних підприємств. Досвід різних галузей нашої промисловості, зокрема машинобудівної, які більш чи менш швидко переорієнтовуються на крупно вузлове складання імпортних розробок (зазвичай морально застарілих), вказує, що насамперед відставання визначається недостатньою якістю проектів, які неспроможні конкурувати із закордонними аналогами.

Виробництво нової техніки, зазвичай, пов'язане з підвищенням точнісних параметрів деталей, які неможливо отримати на існуючих верстатах. Однією з причин є відсутність прецизійних верстатів, що мають високу точність обробки з

підвищеною параметричною надійністю.

У основу конструкції сучасного прецизійного технологічного устаткування, з одного боку покладено використання комплектуючих підвищеної точності, з іншого зборка ведеться фахівцями найвищої кваліфікації. Проте найретельніший монтаж верстата не завжди забезпечує необхідну в роботі параметричну точність. Прецизійне технологічне устаткування практично не пристосоване протистояти зовнішнім фізичним діям (перепад температури, вибухи грому, падіння важкого предмета на підлогу в цеху, тощо) та може визвати розбіг сил в системі верстат-інструмент - деталь, в результаті чого на обробленій поверхні можуть з'явитися дефекти у вигляді відхилення від циліндричності, риски, потовщення, локальна шорсткість, хвилястість та таке інше. Існуючі на сьогодні термостатичні цехи, призначені для ізоляції технологічних систем, від впливу факторів оточуючого середовища, потребує значних фінансових витрат, які компенсуються збільшенням собівартості готового виробу.

Постановка задачі

Проектувати технологічні системи (ТС) необхідно на основі комплексного підходу, не лише в системі верстат-інструмент-деталь, але і враховувати особливості довкілля, де працюватиме система. Загострення особливої уваги на одному з них і зневага іншим, може звести нанівець ефективність розробки нової системи в цілому.

Технологічні системи подібно до живого організму повинні мати можливість самостійно налаштовувати технічні підсистеми і їх параметри на виконання певних заданих функцій. Досконала ТС не потребує ремонту і технічного обслуговування упродовж усієї своєї життєдіяльності. Це дуже важливо при роботі ТС як модуля у складі гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ), оскільки низька параметрична надійність окремих елементів різко знижує надійність усієї системи в цілому.

З метою оптимізації технологічних параметрів (жорсткість шпиндельного вузла, необхідні зазори в парах тертя на різних статичних і динамічних навантаженнях при різній температурі, допустима вібрація, точність взаємного розташування осі симетрії шпиндельного вузла відносно різального інструменту у часі і таке інше) технологічне устаткування має бути адаптоване з ЕОМ. У будь-який момент часу система повинна не лише відстежувати параметри своїх складових, але й у разі потреби вводити коригування з метою оптимізації роботи останніх.

Одним з найбільш важливим елементом підсистеми, яка відповідає за точність обробленої поверхні є шпиндельний вузол (ШВ) верстата.

Мета роботи полягає в структурному моделюванні ШВ, що дозволяють отримувати високу точність обробки заготівель упродовж усієї життєдіяльності устаткування. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити одне з головних завдань, - пошук схем для реалізації принципу саморегулювання з метою стабілізації положення осі симетрії шпинделя відносно різального інструменту.

Методи рішення. У роботі розглянуті ШВ для верстатів токарної і шліфувальної груп, із застосуванням гідродинамічних підшипників. Як правило, шпиндель встановлений на двох радіальних і одному осьовому підшипнику є вибір принципу здійснення саморегулювання. По ряду критеріїв (простота конструкції, можливість максимально простого поєднання з електронним блоком управління (БУ), компактність, низька вартість, мінімальний час на введення коригувань і таке інше) був проведений ретельний аналіз схем, що дозволяють реалізацію принципу саморегулювання [1, 2, 3, 4]. В результаті найбільш раціональною виявилася схема, в якій у якості активного елементу був застосований п'єзоелемент [5]. На рис. 1 зображена блок-схема ШВ з саморегулюванням параметрів.

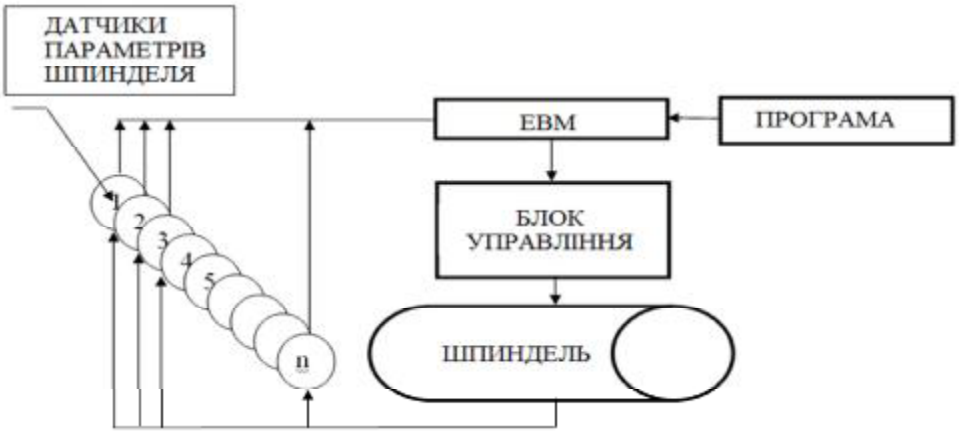

Рис. 1. Блок-схема ШВ з саморегулюванням параметрів

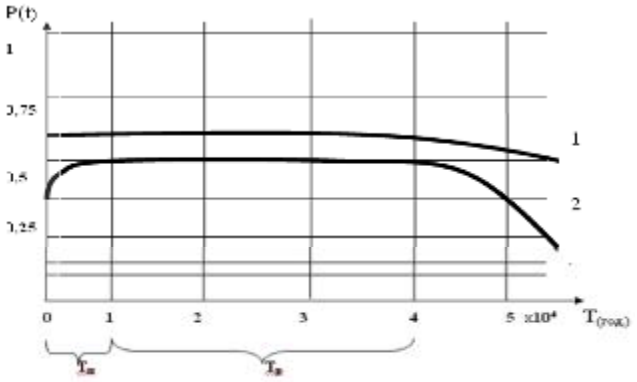

Рис. 2. Параметрична надійність шпиндельного вузла уздовж терміну експлуатації:
1 - шпиндельний вузол встановлений на гідростатичні опори з компенсатором на п'єзоелементах;
2 - існуючий шпиндельний вузол без компенсуючих елементів

Перед початком роботи ШУ, з БУ поступає тестовий сигнал. На підставі інформації поступає від датчиків шпинделя ЕБК ШВ здійснюється обробка отриманої інформації. У разі потреби, за допомогою блоку управління, що коригуючий сигнал, подається на виконуючі елементи гідродинамічних підшипників ШВ у вигляді відповідної напруги і частоти.

В умовах зміни чинників як зовнішніх (зміни сил різання, температури довкілля і т.і.), так і внутрішніх (зміна температури корпусу, складових елементів верстата, мастила, і т.і.) відбувається коригування положення шпинделя відносно різального інструменту.

Домінуючими параметрами ШВ є: зазори в гідродинамічному підшипнику, відносне положення шпинделя в корпусі, температурні складові елементів ШВ, знос тертьових поверхонь, частота обертів, величина вібрації, зовнішні навантаження і т.і. Функціонально-статистична модель відмов ШВ виражається цільовою функцією r(t), що характеризує вихідний параметр системи - її параметричну надійність:

$$r(A_1.A_к, B_1.B_n, C_1.C_m, x_{t1}.x_{tk}, t)$$

де r(t) - параметрична надійність системи, φ_i - функціональна залежність між елементами контролю і механізмами виконання, $A_1.A_к$ - радіальне відхилення валу, $B_1.B_n$ - осьове переміщення валу, $C_1.C_m$, - проміжки в підшипниках ковзання, $x_{t1}.x_{tk}$ - температура елементів ШВ, t - параметр напрацювання.

Очікувані результати. В результаті проведених досліджень встановлено, що запропонована структура ШУ дозволяє усунути не лише погрішності, викликані тепловими деформаціями елементів верстата, але і компенсувати проміжки в підшипниках ковзання, викликані зносом. Крім того, зважаючи на велику жорсткість п'єзоелементів і мінімальний час на їх лінійну зміну, з'являється можливість вводити сигнал протифази на резонансних частотах. Проведені дослідження свідчать про те, що ШВ цього типу дозволяють підвищити точність обробленої поверхні у 2-3 рази, при цьому собівартість технологічної операції може знижуватися до 2-х разів. Приклад, принципової схеми ШВ зображений на рис. 3.

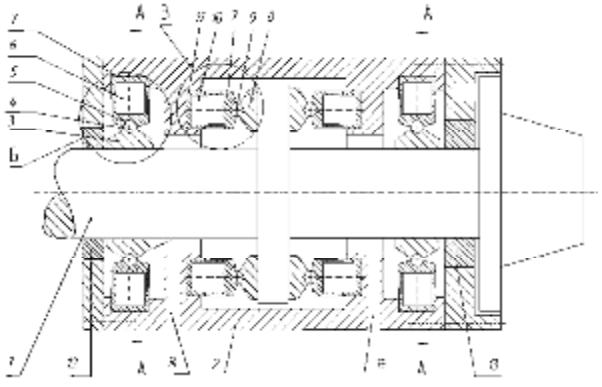

Рис. 3. Приклад виконання ШУ

Шпиндельний вузол складається зі шпинделя 1, який за допомогою двох радіальних гідродинамічних підшипників (переріз А-А), і одного осьового, (вид В), поміщений в корпус 2. У свою

чергу радіальний підшипник призначений для сприйняття радіальних навантажень і складається з (не менш 3-х) активних опорних елементів і які, складаються з радіального секторного елементу 3, який, за допомогою кульки 4 сполучений з опорною поверхнею стакана 5. Стакан 7 впресований в корпус 2, який у свою чергу однією частиною впресований циліндричний елемент 6, що має п'єзоелектричний ефект, а другим в опорний стакан 5.

Осьовий гідродинамічний підшипник призначений для сприйняття осьових навантажень на ШУ і складається з пари симетрично розташованих (не менше 3) активних опорних елементів, виконаних аналогічно радіальним підшипникам. Диск на шпинделі 1, з обох боків якого встановлені опорні елементи, що складаються з торцевого секторного елементу 8, який за допомогою кульки сполучений з опорним стаканом 9. Стакан 11 впресований в корпус 2, в якому у свою чергу однією частиною впресований циліндричний п'єзоелемент 10, а другий в опорний стакан 9. Між корпусом 2 і шпинделем 1 з метою герметизації внутрішньої порожнини ШВ встановлені елементи ущільнювачів 12 і 13.

Для контролю радіального переміщення шпинделя по осі X і У в корпусі, у встановлені датчики положення шпинделя 14 і 15. Для контролю осьового переміщення в корпусі встановлений датчик 16.

Шпиндельний вузол працює таким чином. Перед початком обертання шпинделя БК ШВ робить тестування основних параметрів. У разі їх невідповідності блок управління ШУ за допомогою блоку управління робить необхідне коригування. Після повторного запуску тестової програми у разі позитивного результату, включається двигун головного приводу, відбувається розгін шпинделя і вихід на робочий режим.

ВИСНОВКИ

Шпиндельні вузли, побудовані за цим принципом, відрізняється підвищеною параметричною надійністю, сумісними з електронними засобами контролю, мають можливість компенсації кутової та лінійної похибки в разі їх виникнення. Крім того, системи мають можливість оптимізації зазору у підшипниках та зміни жорсткості шпиндельного вузла в цілому. Використання шпиндельних вузлів цього типу дає можливість отримання потрібних параметрів при більш низької вартості технологічної операції.

Список використаної литератури:

1. Бондарев С. Г. Гідродинамічна сегментна опора. Патент №1834997 від 15.08.93г. Бюл. №30.

2. Маталин А.А., Френкель Б.И., Панов Ф.С. Проектування технологічних процесів обробки деталей на верстатах з числовим програмним управлінням. - Л.: БРЕШУ. 1977. - 280с.

3. Комисаров В. І., Леонтьев И.И. Точність, продуктивність і надійність в системі проектування технологічних процесів. - М.: Машинобудування. 1985. - 224с.

4. Проников А.С. Надійність машин. - М.: Машинобудування. 1978. 592 с.

5. Северцев Н.А. Надійність складних систем в експлуатації і відробітку : Навчань. пособ. - М.: Высш. шк. 1989. – 432 с.

Шпиндельные узлы этого типа обладают повышенной устойчивостью к внешним факторам, как со стороны сил резания, так и со стороны элементов станка. Работа шпиндельного узла при оптимальных тех-нических параметрах, которые контролируются со стороны ЭВМ, позволяет получить повышенную параметрами ричном надежность узла, и заданную точность обработанной поверхности.

Ключевые слова: *шпиндельные узлы, прецизионные станки, параметрическая надежность узлов*

Self - controlled machine units of the given type адоптуют to external influences, both on the part of forces of cutting, and on the part of elements of the machine tool. The work self - controlled machine of unit at optimum technical parameters controllable on the part of the computer, allows to receive raised parametrical reliability of unit, and given quality of the processed surface.

Keywords: *spindle assemblies, precision machine tools, parametric reliability of units*

Стаття надійшла в редакцію: 25.08.2013р.

Рецензент: д.т.н., професор Тарельник В.Б.