

С. Г. Бондарев, к.т.н., доцент,

А. М. Ребрій, ст. викл.,

І. О. Рибенко, ст. викл.,

О. В. Рясна, ст. викл.

Сумський національний аграрний університет

У статті розглянуто новий підхід, щодо створенні шпindelних вузлів, прецизійних металорізальних верстатів, зокрема для обробки сталевих та чавунних заготовок, лезовим інструментом з надтвердих матеріалів на фінішних операціях.

Ключові слова: металорізальний верстат, шпindel, жорсткість, точність.

Вступ. Сучасне машинобудування характеризується постійним збільшенням точності розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей. Тому розширення групи високоточного технологічного обладнання, збільшення їх точності, та параметричної надійності, відображає одну з основних тенденцій машино- і приладобудування. Це положення ілюструється графіком (рис. 1) [1], запропонованим японськими вченими, який показує інтенсивність підвищення точності обробки заготовку світі за минуле сторіччя.

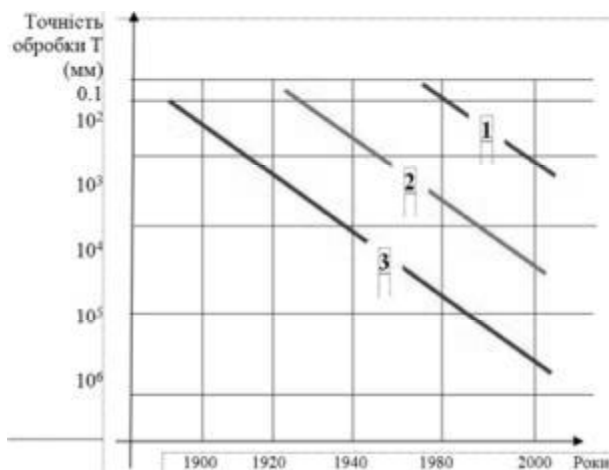


Рис. 1 Інтенсивність підвищення точності обробки заготовку світі минулому сторіччю: 1 – обробка різанням традиційна, 2 – точна, 3 - прецизійна.

Завдяки підвищенню точності деталей швидко зростає точність машин і приладів, техніка стає більш потужною та економічною. В даний час для традиційної обробки різанням використовуються прецизійні розточувальні, токарні, фрезерні верстати, та інше технологічне обладнання, призначене для формоутворення на фінішних операціях. Однак, збільшення точності обробки перешкоджають фактори, які існують як поза технічної Т - системи (верстат - технологічне пристосування – інструмент - заготовка) (ТС), так і всередині її самої. Однією з причин, які ускладнюють отримання необхідних розмірів, точності форми і взаємного розташування поверхонь деталі, є теплова деформація від вузлів і елементів верстатів, роботи електродвигунів, тертя в підшипниках, гідро- та електроприводах вузлів та агрегатів і т. і. Аналітичні розрахунки теплових

деформацій елементів верстатів і шпindelних вузлів (ШВ) зокрема, досить трудомісткі і дають недостатньо коректні результати. Існуюче прецизійне технологічне обладнання практично не пристосоване протидіям зовнішнім фізичним впливам (робота двигуна великого літражу на автотракторній техніці, удар важкого предмету об підлогу при розвантажувальних роботах, тощо.) Подібні дії на ТС, можуть викликати розбалансування сил ТС, внаслідок чого, на обробленій поверхні з'являються дефекти у вигляді рисок, потовщення, локальної шорсткості, хвилястості і т. і. Тому завдання створення ШВ з підвищеною параметричної надійністю і довговічністю є актуальною і своєчасною.

Постановка завдання. Експериментальними дослідженнями встановлено, що в період розігріву токарних верстатів 16K20ПФ3 від пуску до настання теплової рівноваги їх шпindel зміщується в радіальному напрямку на координаті X. В результаті, при точінні розмір оброблюваних заготовок зменшується, а при розточуванні - збільшується. В даному випадку похибка розміру визначається за формулою:

$$\Delta_{н.м.с.} = 120^{-0.3} n_{сп} (1 - e^{-\frac{T}{\tau_m}})$$

де $n_{сп}$ - частота обертання шпинделя; T - час обробки, хв.; τ_m - час розігріву верстату до теплової рівноваги, 100...120 хв.

Теплові деформації шпindelних бабок розточувальних верстатів призводять до зміщення шпинделя, як по координаті X, так і по координаті Y. Крім того, відбувається розворот шпинделя. Ці зміщення викликають утворення похибок розташування осей отворів, які розточуються. Наприклад, для верстату 2A620Ф2 похибка міжосьової відстані двох отворів, оброблюваних послідовно, при переході від одного до іншого, координатним способом у вертикальному напрямку визначається за формулами:

$$\Delta_{мо}^y = y_{м.с.} \left(\frac{T}{\tau_{см}} \right),$$

та горизонтальному напрямку:

$$\Delta_{мо.мс}^x = x_{м.с.} \left(\frac{T}{\tau_{см}} \right),$$

де $y_{м.с.}$ - повне до розігріву верстата зміщення шпинделя у вертикальному напрямку,

мкм, $U_{m.z.} = 30...50$; $X_{m.z.}$ - відповідне зміщення осі шпинделя в горизонтальному напрямку, мкм, $X_{m.c.} = 20...30$, T_{cm} - час відповідно обробки і розігріву верстата, хв., $T_{cm} = 240...300$ хв.

На рис. 2 показані результати експериментальних досліджень ШВ на верстатах з ЧПК через вплив теплових деформацій [1]. Крива 1 характе-

ризує зміщення шпинделя верстату 6520Ф3 по координаті У при $n_{cm} = 1600$ хв⁻¹, крива 2 - верстату 2А136Ф3 по координаті У при $n_{cm} = 1400$ хв⁻¹, крива 3 - верстату 243ВМФ2 по координаті У при $n_{cm} = 1250$ хв⁻¹. Як видно з графіку, зміщення шпинделя досягає суттєвих значень вже в перші 2...3 години роботи верстатів .а. б.

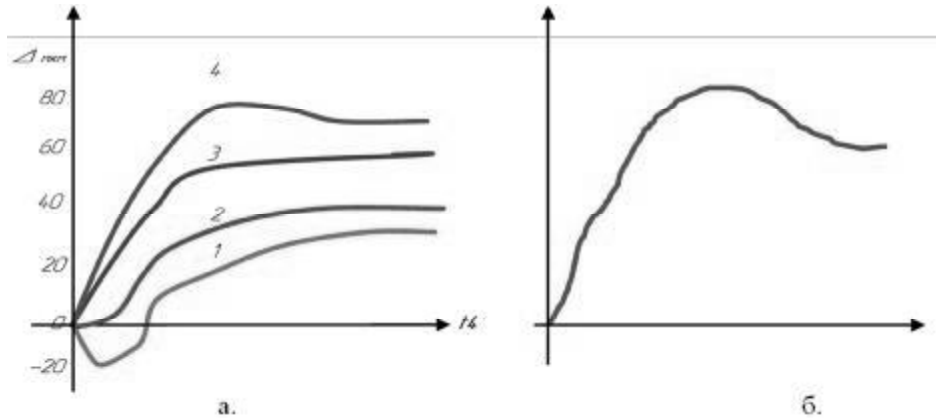


Рис. 2 Результати експериментальних досліджень дрейфу осі симетрії шпиндельних вузлів відносно ріжучого інструменту на верстатах з ЧПК внаслідок дії теплових деформацій: а. – при безперервній роботі на допоміжному ходу; б. – на багатоопераційному верстаті з ЧПК при обробці заготовок кількома різними інструментами.

Похибка від теплових деформацій верстатів з ЧПК можуть зробити помітний вплив на точність обробки в початковий період роботи. Усунути ці похибки внесенням попереднього корегування програм досить важко, оскільки умови їх утворення не залишаються постійними. Після розігріву верстату, теплові деформації припиняються і похибки не виникають [2]. Тому часто, на підприємствах, для отримання запланованої точності обробки заготовки, головний привід верстату на міжопераційний час не вимикається. Це призводить до витраті електроенергії і зниження ресурсу обладнання. Крім розглянутих теплових деформацій, істотну роль відіграє знос пар тертя у підшипниках ШВ. У певному поєднанні у вузлах і з'єднаннях, вони можуть викликати підвищену вібрацію, або вступати в резонанс на певних швидкісних режимах. Як наслідок, це призводить до утворення дефектів на оброблених поверхнях. При проектуванні прецизійного верстатного обладнання необхідно спочатку прагнути до отримання максимального параметричної надійності (жорсткість ШВ, оптимальні зазори в парах тертя при статичних і динамічних навантаженнях на різних температурних режимах, допустима вібрація, точність взаємного розташування осі симетрії ШВ, щодо різального інструменту у часі і т. і.) на період всієї життєдіяльності системи. Для контролю та коригування технологічних параметрів ТЗ, елементи підсистем повинні бути адаптовані до ЕОМ. У будь-який час система повинна не тільки відслідковувати параметри підсистем, але і по мірі необхідності вводити коригування з метою оптимізації роботи останніх. Для створення обладнання, яке тривалий час зберігає свої технологічні параметри, доцільно втілення

принципу саморегулювання для основних цільових механізмів системи, що визначають якісні показники. Проектувати обладнання такого типу необхідно на основі комплексного підходу, не тільки в ТС, але і враховувати особливості навколишнього середовища, де буде працювати система. Особливе загострення уваги на одному з них і нехтування іншими, може звести нанівець ефективність розробки нової системи у цілому.

Мета роботи полягає в структурному моделюванні ШВ дозволяють отримувати високу точність обробки заготовок протягом всієї життєдіяльності обладнання. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити завдання:

1. Провести синтез структури ШВ;
2. Провести пошук схем для реалізації принципу саморегулювання з метою стабілізації положення осі симетрії шпинделя відносно ріжучого інструменту;
3. Конструктивно скомпонувати ШВ

Викладення основного матеріалу. В даній роботі розглянуті ШВ для верстатів токарної та розточувальної груп, із застосуванням гідродинамічних підшипників. Як правило, шпиндель встановлений на двох радіальних і одному напольговому підшипнику. При синтезі структури ШВ найбільш складним завданням був вибір принципу здійснення саморегулювання. По ряду критеріїв (простота конструкції, можливість максимально простого сполучення з ЕОМ, компактність, низька вартість, мінімальний час на введення коригувань і т. і.) був проведений ретельний аналіз схем, що дозволяють реалізацію саморегулювання [1, 2, 3, 4]. В результаті найраціональнішою виявилася схема, в якій в якості активного елемента був застосований п'єзоелемент

[5]. На рис. 3 зображена блок-схема ШВ з само- | регулюванням параметрів.

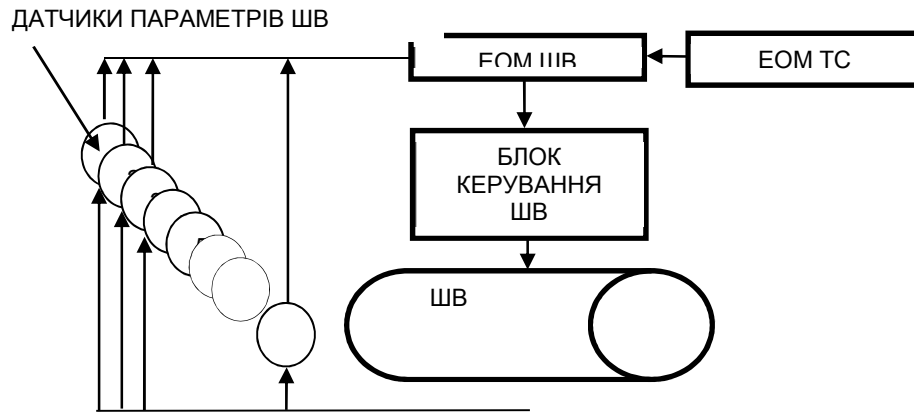


Рис. 3. Блок-схема ШВ з саморегулюванням параметрів

Перед початком роботи ШВ, з його ЕОМ надходить тестовий сигнал. На підставі інформації, що надходить від датчиків шпинделя ЕОМ ШВ здійснюється обробка отриманої інформації. У разі необхідності, за допомогою блоку управління, коригувальний сигнал подається на виконавчі елементи гідродинамічних підшипників ШВ у вигляді відповідного напруги та частоти. В умовах зміни факторів, як зовнішніх (зміни сил різання, температури навколишнього середовища тощо), так і внутрішніх (зміна температури корпусу, складових елементів верстата, олії, тощо) відбувається коригування положення шпинделя відносно ріжучого 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 ціловою функцією $g(t)$, що характеризує вихідний параметр системи - її параметричну надійність;

$$g(t) = \varphi(A_1 \dots A_k, B_1 \dots B_n, C_1 \dots C_m, x_{t1} \dots x_{tk}, t),$$

де $g(t)$ – параметрична дійсність системи, φ – функціональна залежність між елементами контролю і механізмами виконання, $A_1 \dots A_k$ – радіальне відхилення вала, $B_1 \dots B_n$ – осьове переміщення вала, $C_1 \dots C_m$ – зазори в підшипниках ковзання, $x_{t1} \dots x_{tk}$ – температура елементів ШВ, t – параметр напрацювання.

Очікувані результати. В результаті проведених досліджень встановлено, що запропонована структура ШВ дозволяє усунути не тільки похибки, що викликані тепловими деформаціями елементів верстата, але і компенсувати зазори в підшипниках ковзання, викликані зносом. Крім того, зважаючи на велику жорсткість п'єзоелементів та мінімальним часом на їх лінійна зміна, з'являється можливість вводити протифазний сигнал на резонансних частотах. Проведені дослідження свідчать про те, що ШВ даного типу дозволяють підвищити точність обробленої поверхні в 2-3 рази, при цьому, собівартість технологічної операції може знижуватися до 2-х разів. Приклад принципової схеми ШВ зображено на рис. 4.

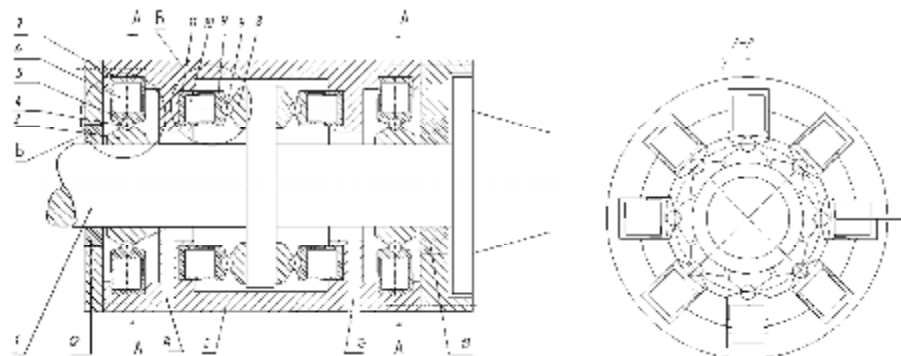


Рис. 4. Принципова схема шпиндельного вузла

Шпиндельний вузол складається зі шпинделя 1, який за допомогою двох радіальних гідродинамічних підшипників (переріз А-А), і одного осьового, (вид), встановлений у корпус 2. У свою чергу радіальний підшипник, призначений для прийняття радіальних навантажень складається

з (не менше 3-х) активних опорних елементів і радіального секторного елемента 3, який, за допомогою кульки 4 з'єднаний з опорним стаканом 5. Стакан 7 впресовано в корпус 2, який в свою чергу однією частиною впресовано в циліндричний елемент 6, який володіє п'єзоелектричним

ефектом, а другою, в опорний стакан 5. Осьовий гідродинамічний підшипник, призначений для сприйняття осьових навантажень на ШВ, і складається з пари симетрично розташованих (не менше 3) активних опорних елементів, конструктивно виконаних аналогічно радіальним підшипникам. Диск на шпинделі 1, з обох сторін якого, встановлені опорні елементи, що складаються з торцевого секторного елемента 8, який за допомогою кульки з'єднаний з опорним стаканом 9. Стакан 11 впресовано у корпус 2, у який в свою чергу однією частиною впресовано циліндричний п'єзоелемент 10, а другий в опорний стакан 9. З метою герметизації внутрішньої порожнини ШВ, між корпусом 2 і шпинделем 1 встановлені ущільнюючі елементи 12 і 13. Для контролю радіального переміщення шпинделя по осі X і Y в корпусі, встановлені датчики положення шпинделя 14 і 15. Для контролю осьового переміщення в корпусі встановлено датчик 16.

ШВ працює наступним чином. Перед по-

чатком обертання шпинделя, ЕОМ ШВ проводить тестування основних параметрів. У разі їх невідповідності, ЕОМ ШВ допомогою блоку управління виконує необхідні коригування. Після повторного запуску тестової програми в разі позитивного результату, включається двигун головного приводу, відбувається розгін шпинделя і вихід на робочий режим.

ВИСНОВКИ. Шпиндельні вузли даного типу відкривають новий напрямок при проектуванні прецизійних верстатів 4-го покоління, та є складовими елементами верстатів оснащених системою адаптивного програмного керування (АПК), мають підвищену стійкість до зовнішніх впливів, як з боку сил різання, так і з боку елементів верстата. Робота шпиндельного вузла здійснюється при оптимальних технічних параметрах, керованих з боку ЕОМ, дозволяє одержати підвищену параметричну надійність вузла, а отже працювати у складі гнучкого автоматизованого виробництва.

Список використаної літератури:

1. Маталін А.А., Френкель Б. В., Панов Ф. С. Проектування технологічних процесів обробки деталей на верстатах з числовим програмним управлінням. - Л.: ЛДУ. 1977. - 280с.
2. Комісаров в. І., Леонтьєв В. І. Точність, продуктивність і надійність в системі проектування технологічних процесів. - М: Машинобудування. 1985. - 224с.
3. Проников А. С. Надійність машин. - М: Машинобудування. 1978. 592с.
4. Северцев Н.А. Надійність складних систем в експлуатації: Учбов. посіб. - М.: Вища. шк. 1989. - 432с.
5. Бондарев С. Г. Гідродинамічна сегментна опора. Патент №1834997 від 15.08.93 р. Бюл. №30.

Бондарев С.Г., Ребрій А.Н., Рыбенко І.А., Рясна О.В. Концептуальні шпиндельного вузла прецизійних металлорежущих станків

В статті розглянуто новий підхід до розробки шпиндельних вузлів прецизійних металлорежущих станків, в тому числі для обробки сталевих і чугунних заготовок лезвийним інструментом із сверхтвердих матеріалів на фінішних операціях.

Ключеві слова: металлорежущий станок, шпиндель, жорсткість, точність.

Bondarev S., Rebriy A., Rybenko I., Ryasna O. Conceptual units spindle precision machine tools

On the basis of conducted research we can draw the following conclusions;

1. *The use of the spindle unit is equipped with a system of self-regulation at different thermal, static and dynamic parameters, allows the work piece to hold strictly necessary position relative to a cutting tool that makes it possible to increase the machining accuracy of surface finish operations.*

2. *Spindle units of this type can be equipped, gas or aerodynamic bearings, thanks to which the frequency of rotation of the rotor spindle Assembly can be raised to 10^6 min^{-1} , under which can be effectively used super hard materials such as cubic boron nitride, for finishing shafts of small diametric dimensions, lathes, and boring holes in.*

3. *Spindle units of this type equipped with a control system that is compatible with the computer that enables the optimization of the technical parameters, obtaining high parametric reliability and durability of the node.*

4. *Spindle Assembly is a module that can be used as universal equipment, and for equipment operating in flexible automatic production, and complexes.*

Key words: machine tools, spindle rigidity, precision.

Дата надходження до редакції: 11.03.2016

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