

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ НАПРЯМОК ПРОЕКТУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

С.Г.Бондарев , А.М.Ребрій , І.О.Рибенко , О.В. Рясна

Сумський національний аграрний університет

Шпиндельний вузол призначений для лезової обробки поверхонь обертання заготовок, як металевих, так і виготовлених з чавуну. Даний вузол призначений для фінішних операцій і може бути використаний для обробки заготовок з надтвердих матеріалів.

Робота шпиндельного вузла здійснюється при оптимальних технічних параметрах, керованих з боку електронно-обчислювальної машини, дозволяє одержати підвищену параметричну надійність вузла, а отже використовувати у складі гнучкого автоматизованого виробництва. Шпиндельні вузли даного типу відкривають нові перспективи при проектуванні прецизійних верстатів 4-го покоління, є складовими елементами верстатів оснащених системою адаптивного програмного керування.

Ключові слова: *прецизійний верстат, шпиндельний вузол, технологічні системи, верстат, надтверді матеріали, адаптивна виробнича система, оптимальні технічні параметри.*

Постановка проблеми. Для машинобудування характерне постійне збільшення точності розмірів, форми й взаємного розташування деталей, що складаються. Тому група високоточних з'єднань не є малочисельною і в цьому випадку необхідність збільшення їх точності відбиває одну з основних тенденцій машино - й приладобудування. Це положення ілюструється графіком (рис. 1) [1], запропонованим японськими вченими, який показує збільшення точності деталей у минулому сторіччі: 1 – обробка різанням традиційна, 2 – точна, 3 - надточна.

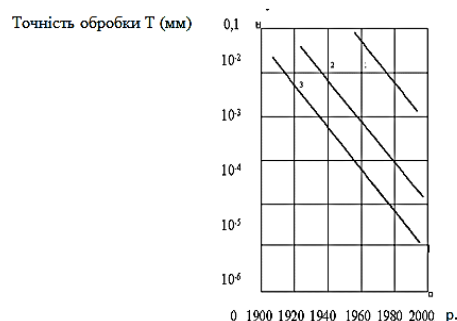


Рис. 1. Тенденція збільшення точності виробу машинобудування в минулому столітті

Відповідно до точності деталей швидко росте точність машин і приладів. У цей час для традиційної обробки різанням характерні прецизійні координатно-розточувальні й координатно-шліфувальні верстати, устаткування для суперфінішної обробки. Для даних технологічних операцій в якості ріжучого інструмента застосовують прогресивні, надтверді матеріали (НТМ), серед яких найбільш перспективними є алмаз (натуральний або синтетичний), Эльбор-Р, і Гесконит-Р та інші. Швидкість різання для даних матеріалів може досягати декількох тисяч м/хв. Для надточної обробки різанням застосовують доводочні й полірувальні верстати особливо високої точності. Однак збільшенню точності обробки перешкоджають фактори, що існують як, поза технічною системою (ТС) так і усередині її самої.

Однією з причин, що ускладнюють отримання необхідних розмірів, точності форми й взаємного розташування поверхонь деталі, є теплова деформація вузлів і елементів верстата, (тепло є наслідком роботи електродвигунів, тертя в підшипниках, гідроприводах, і т.п.). Аналітичні розрахунки теплових деформацій елементів верстата й зокрема, шпиндельних вузлів, досить трудомісткі й дають недостатньо достовірні результати. Більш точні дані одержують експериментально.

Аналіз останніх досягнень. Експериментальними дослідженнями встановлено, що в період розігріву шпиндельних вузлів токарських верстатів І6К20Ф3 від пуску до настання теплової рівноваги їх шпиндель зміщується в радіальному напрямку на координаті X . У результаті при точінні розмір оброблюваних заготовок зменшується, а при розточуванні - збільшується. У цьому випадку погрішність розміру:

$$\Delta_{н.т.с.} = 120^{-0.3} n_{сн} (1 - e^{-\frac{T}{\tau_m}}), \quad (1)$$

де $n_{сн}$ - частота обертання шпинделя;

T - час обробки, хв;

τ_m - час розігріву верстата до теплової рівноваги, 100...120 хв.

Теплові деформації шпиндельних бабок розточувальних верстатів приводять до зсуву шпинделя як по координаті X так і по координаті Y . Крім того, відбувається обертання шпинделя. Ці зсуви викликають утворення похибок розташування вісей отворів, які розточуються. Наприклад, для верстата 2А620Ф2 похибка міжосьової відстані двох отворів, оброблюваних послідовно при переході від одного до іншого координатним способом у вертикальному напрямку:

$$\Delta_{мо}^y = y_{т.с.} \left(\frac{T}{\tau_{сн.}} \right), \quad (2)$$

у горизонтальному:

$$\Delta_{мо.мс}^x = x_{m.c} \left(\frac{T}{\tau_{cm}} \right), \quad (3)$$

де $y_{m.c.}$ - повне до розігріву верстата зміщення шпинделя у вертикальному напрямку, мкм,

$y_{m.c.} = 30 \dots 50$; $x_{т.с}$ - відповідний зсув осі шпинделя в горизонтальному напрямку, мкм,

$x_{m.c.} = 20 \dots 30$; τ_{cm} - час відповідно обробки й розігріву верстата, хв.; $\tau_{cm} = 240 \dots 300$ хв.

Постановка проблеми полягає в структурному моделюванні шпиндельного вузла (ШВ), що дозволяє одержувати високу точність обробки заготовок протягом усієї життєдіяльності устаткування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити одну з головних задач, - пошук схем для реалізації принципу саморегулювання з метою стабілізації положення осі симетрії шпинделя щодо інструмента.

Методи рішення. У даній роботі розглянуті ШВ для верстатів токарної, розточної та шліфувальної груп, у яких використовуються гідродинамічні підшипники. Зазвичай, шпиндель встановлюється на двох радіальних і одному осьовому підшипнику.

При синтезі структури ШВ найбільш складною задачею був вибір принципу здійснення саморегулювання. По ряду критеріїв (простота конструкції, можливість максимально простого сполучення з регулятором, компактність, низька вартість, мінімальний час на введення корегувань і т. п.) був проведений ретельний аналіз схем, що дозволяють реалізацію саморегулювання [2, 3, 4].

У результаті найбільш раціональної виявилася схема, у якій в якості активного елемента був застосований п'єзоелемент .

Результати досліджень. На рисунку 2 показані результати експериментальних досліджень шпинделя у верстатах з ЧПУ, через теплові деформації [1]. Крива 1 характеризує зсув шпинделя верстата 6520Ф3 по координаті У, при $n_{cm} = 1600 \text{ хв}^{-1}$, крива 2 - верстата 2РІ36Ф3 по координаті У, при $n_{cm} = 1400 \text{ хв}^{-1}$, крива 3 - верстата 243 ВМФ2 по координаті У, при $n_{cm} = 1250 \text{ хв}^{-1}$. Як видно, зсув шпинделя досягає досить значних величин уже в перші 2...3 години роботи верстата.

Похибки від теплових деформацій верстатів з ЧПУ можуть вплинути на точність обробки в початковий період роботи. Усунути ці похибки вимірювання керуючих програм досить важко, оскільки умови їх утворення не залишаються постійними. Після розігріву верстата теплові деформації припиняються й похибки не виникають [2] .

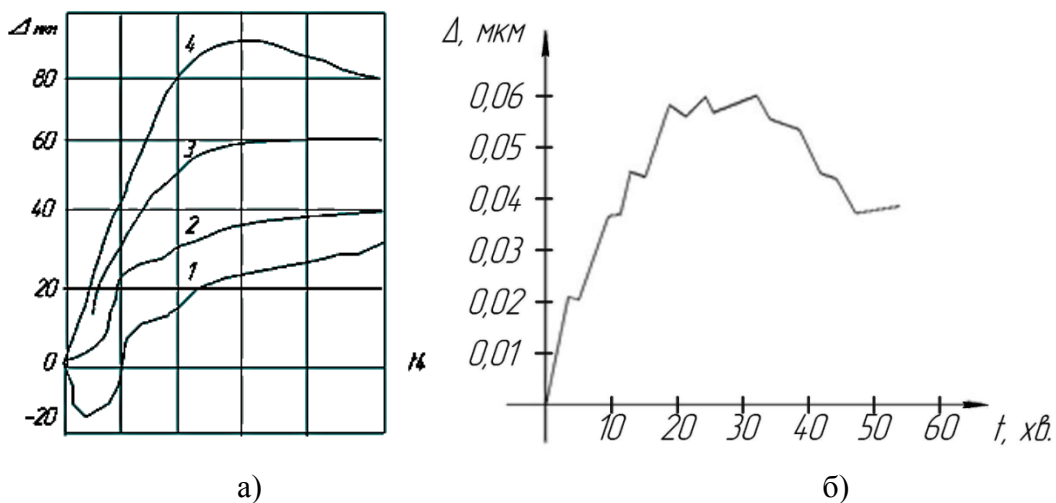


Рис. 2. Графіки зсуву шпинделя у верстатах з ЧПУ в результаті теплових деформацій:
 а) - при безперервній роботі на допоміжному ході; б) - на багатоопераційному верстаті з ЧПУ при обробці заготовок декількома різними інструментами

Окрім розглянутих теплових деформацій істотну роль відіграє фактор зношування пар тертя, у підшипниках шпинделя. В певній комбінації у вузлах і з'єднаннях вони можуть викликати підвищену вібрацію або вступати в резонанс на певних швидкісних режимах, це приводить до утворення дефектів на оброблених поверхнях.

При проектуванні прецизійного верстатного встаткування необхідно початково прагнути до максимальної параметричної надійності (твердість шпиндельного вузла, оптимальні зазори в парах тертя при статичних і динамічних навантаженнях на різних температурних режимах, припустима вібрація, точність взаємного розташування осі симетрії шпиндельного вузла щодо різального інструменту в часі і т.п.) на період усієї життєдіяльності системи.

Ідеальна технологічна система практично не має потреби в ремонті й технологічному обслуговуванні на протязі всієї своєї життєдіяльності. Це дуже важливо при роботі технологічної системи як модуля в складі гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ), оскільки низька параметрична надійність окремих елементів різко знижує надійність усієї системи в цілому.

Для контролю й коректування технологічних параметрів ТС, елементи підсистем повинні бути адаптовані до ЕОМ. У будь-який момент часу система повинна не тільки відслідковувати параметри підсистем, але й в міру необхідності вводити коректування з метою оптимізації роботи останніх.

Існуюче прецизійне технологічне встаткування практично не пристосоване перешкодити зовнішнім фізичним впливам (гуркоти грому, удар важкого предмета об

підлогу в цеху і т.п.) Подібні впливи на систему верстат – інструмент - деталь, можуть викликати неузгодженість сил, у результаті чого на обробленій поверхні з'являться дефекти у вигляді рисок, підвищення локальної шорсткості, хвилястості й т.п.

Проектувати технологічні системи необхідно на основі комплексного підходу, не тільки в системі верстат - інструмент-деталь, але й урахувувати особливості навколишнього середовища, де буде працювати система. Загострення особливої уваги на одному з них і зневага іншою, може звести, нанівець ефективність розробки нової системи в цілому.

Для створення обладнання, яке тривалий час зберігає свої технологічні можливості, доцільно втілення принципу саморегулювання для основних цільових механізмів системи, які визначають якісні показники.

Як приклад, на рисунку 3 [5] зображена блок-схема шпинделя із саморегулюванням параметрів.

Перед початком роботи, у комп'ютер завантажується програма керування ТС. На підставі інформації, яка надходить від датчиків шпинделя, ЕОМ ТС робить обробку отриманої інформації. За допомогою блоку керування, сигнал подається на виконавчі п'єзоелементи гідродинамічних підшипників шпиндельного вузла у вигляді відповідної напруги й частоти.

В умовах мінливих факторів, як зовнішніх (зміни сил різання, температури навколишнього середовища і т.п.), так і внутрішніх (зміна температури корпусу, складових елементів верстата, масла, і т.п.) необхідне коректування положення шпинделя щодо різального інструменту.

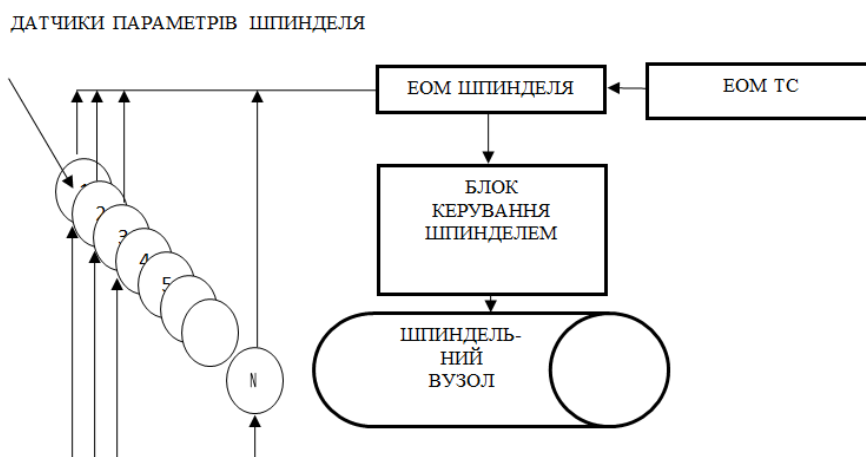


Рис. 3. Блок-схема шпинделя із саморегулюванням параметрів

Домінуючими параметрами шпиндельного вузла є: зазори в гідродинамічному підшипнику, відносне положення вала шпинделя в корпусі, температурні складові елементів шпиндельного вузла, зношування тертьових поверхонь, частота обертів, величина вібрації, зовнішні навантаження і т.п. Крім того, контролюються зовнішні впливи

на верстат, наприклад, вібрація, що передається від інших агрегатів і вузлів, рух транспорту, фактор природних явищ і т.п.

Функціонально-статистична модель відмов шпиндельного вузла можливо описати функцією $r(t)$, яка характеризує вихідний параметр системи - її параметричну надійність

$$r(t) = \varphi_i(A_1 \dots A_k, B_1 \dots B_n, C_1 \dots C_m, x_{t1} \dots x_{tk}, t), \quad (4)$$

де $r(t)$ – параметрична надійність системи,

φ_i - функціональна залежність між елементами контролю й 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 шпиндельного вузла,

t - параметр наробітку.

Принципова схема шпиндельного вузла зображена на рисунку 4.

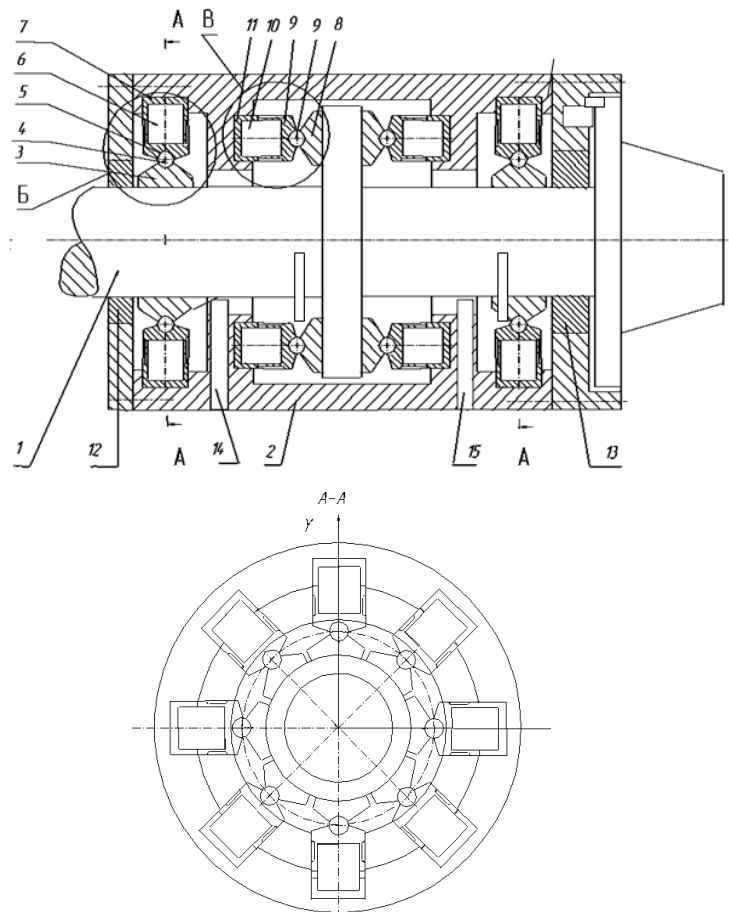


Рис. 4 Шпиндельний вузол

Шпиндельний вузол працює наступним чином. Перед початком обертання шпинделя із блоку пам'яті надходить інформація в механізм керування про раціональні зазори в кожному гідродинамічному підшипнику. На п'єзоелементи подається відповідна напруга, після чого відбувається включення основного двигуна і йде процес розгону шпинделя. Після

стабілізації обертів від датчиків надходить інформація в механізм керування, де відбувається звірення заданих параметрів закладених в блоці пам'яті з реальними. Різниця зі знаком "+" або "-" є величина полярного коректування.

При реалізації технологічного процесу, на шпindel впливають сили різання, які контролюються відповідними датчиками контролю (зовнішні силові фактори). Із зазначених датчиків інформація також надходить у механізм керування шпindelним вузлом.

Усунути радіальне зусилля й вібрацію з боку натягу приводного паса, або радіальні й осьові зусилля від шестерної передачі можна, об'єднавши. Перевага шпindelних вузлів даного типу полягає й у тому, що вони є адаптованими до зовнішніх впливів, як з боку сил різання, так і з боку елементів верстата.

Висновки. Застосування шпindelного вузла (ШВ) оснащеного системою саморегулювання при різних теплових, статичних і динамічних параметрах, дозволяє заготовці займати необхідне положення, щодо різального інструменту, з метою підвищення точності оброблюваної поверхні.

ШВ даного типу оснащені автоматизованою системою керування дає можливість оптимізації технічних параметрів, одержання високої параметричної надійності та довговічності вузла.

ШВ являє собою модуль, який можливо використовувати, як в універсальному устаткуванні, так і для устаткування працюючого в складі гнучкого автоматичного виробництва.

Виконання ШВ оснащеного автоматизованою системою керування являє собою новий, концептуальний напрямок проектування технологічного обладнання четвертого покоління.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маталин А.А., Френкель Б.И. Панов Ф.С. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением. - Л.: ЛГУ. 1977. - 280с.
2. Комисаров В.И. Леонтьев И.И., Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов - П.: Машиностроение. 1985. - 224с.
3. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение. 1978. - 592 с.
4. Северцев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке: Учеб. пособ. - М.: Высш. шк.. 1989. - 432с.

С.Г.Бондарев , А.Н.Ребрий , И.А.Рыбенко , О.В.Рясна. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Шпиндельный узел предназначен для лезвийной обработки поверхностей вращения заготовок, как металлических, так и изготовленных из чугуна. Данный узел предназначен для финишных операций и может быть использован для обработки заготовок из сверхтвердых материалов.

Работа шпиндельного узла осуществляется при оптимальных технических параметрах, управляемых со стороны электронно-вычислительной машиной, позволяет получить повышенную параметрическую надежность узла, а следовательно использовать в составе гибкого автоматизированного производства. Шпиндельные узлы данного типа открывают новые перспективы при проектировании прецизионных станков 4-го поколения, являются составными элементами станков, оснащенных системой адаптивного программного управления.

Ключевые слова: *прецизионный станок, шпиндельный узел, технологические системы станков, сверхтвердые материалы, адаптивная производственная система, оптимальные технические параметры.*

S.Bondarev , A.Rebriy , I.Rybenko , O.Ryasna. CONCEPTUAL DIRECTIONS PRECISION MACHINE TOOL DESIGN

Cylinder units of this type opens new perspectives in the design of precision machine tools 4th generation, is an integral element of machine tools rigging system adaptive program control (APC), have a high resistance to external influences, both the cutting forces and elements of the machine. Work spindle unit carried out under optimal technical parameters controlled by the electron computer, allows to obtain high reliability parametric node, and thus used as part of a flexible automated production. Spindle unit is designed for surface treatment lezviynoyi rotation pieces as metal and made of cast iron. This unit is designed for finishing operations and can be used for processing workpieces cutters from superhard materials. The peculiarity of this spindle unit is that it can reach a speed of 10,000 rev / min and more, dazvolyaye use superhard materials from natural and synthetic diamonds Heksonitu, ELBOR-R, Bilboru and others. In order to structurally increase speed away as the reference, may be used such as aerostatic bearings.

It should also be emphasized feature of the given design for increased reliability of the design. The system automatically allows you to create systemic gaps in pishypnykah sliding, thus maintaining the necessary rigidity of the system

" machine - tool – workpiece " which allows no masters - nalahodzhuvalnykiv operate the system throughout the life cycle.

The system can also be from the very beginning to put in the best relative position relative to longitudinal axis of symmetry of the cutting tool, which allows not take into account the thermal " dreyfuvannya " front and tailstock relatively Machine cutting tools.

The above features make it possible to virtually eliminate the probability of marriage when processing workpieces to finishing operations.

Keywords: *precision machine spindle, technological systems of machine tools, superhard materials, adaptive manufacturing system, the optimal technical parameters.*