

Our purpose to get the exact decision of task of flat deformation of resilient wedge the lateral verges of which are free of tensions, with a rectilinear eventual crack which goes out from the top of wedge and located on his wasp of symmetry.

With the use of method of Vinera – Gopfa the exact decision of task is found about the equilibrium of resilient wedge with a rectilinear eventual crack on his wasp of symmetry in the case when the lateral verges of wedge are free of tensions, and on the banks of crack, that виходить from the top of wedge, permanent pressure operates. Faktorization of coefficient of functional equalization of Vinera – Gopfa is conducted in endless works. It is got Roz'yazok as rows after the roots of transcendent equalizations. Results over of calculations of coefficients of intensity of tensions are brought, distributing of normal tensions on the line of continuation of crack, and also normal moving of banks of crack.

Keywords: elastic wedge, crack, tension, Wiener – Hopf method, factorization.

Стаття надійшла в редакцію 23 березня 2015р.

Рецензент: д.ф.-м.н., професор Кузема О.С.

УДК 621.614.1

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ НАПРЯМОК ПРОЕКТУВАННЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

С. Г. Бондарев, к.т.н., доцент

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.

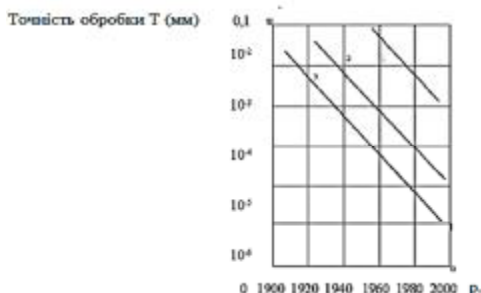


Рис. 1. Тенденція збільшення точності виробу машинобудування в минулому столітті

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), Ельбор-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, доситьтру-

домістки й дають недостатньо достовірні результати. Більш точні дані одержують експериментально.

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

$$\Delta_{n.m.c.} = 120^{-0.3} n_{cn} (1 - e^{-\frac{T}{\tau_m}}), \quad (1)$$

де n_{cn} - частота обертання шпинделя;

T - час обробки, хв;

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

Теплові деформації шпindelних бабок розточувальних верстатів приводять до зсуву шпинделя як по координаті Х так і по координаті У. 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:

$$\Delta_{mo}^y = y_{m.c.} \left(\frac{T}{\tau_{cm}} \right), \quad (2)$$

у горизонтальному:

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

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

$x_{m.c.}$ = 30...50; $x_{т.с.}$ - відповідний зсув осі шпинделя в горизонтальному напрямку, мкм, $x_{m.c.}$ = 20...30; τ_{cm} - час відповідно обробки й розігріву верстата, хв.; τ_{cm} = 240...300 хв.

Постановка проблеми полягає в структурному моделюванні шпindelного 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, шпindel 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 $n_{cm} = 1600$ хв⁻¹, крива 2 - верстата 2Р136Ф3 по координаті У, при $n_{cm} = 1400$ хв⁻¹, крива 3 - верстата 243 ВМФ2 по координаті У, при $n_{cm} = 1250$ 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].

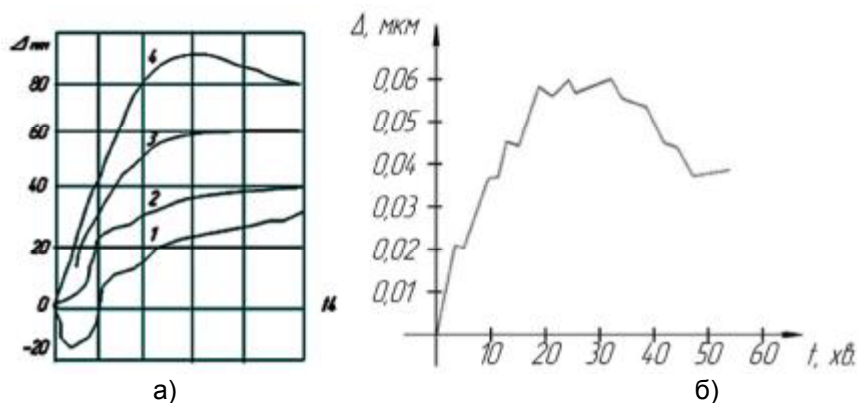


Рис. 2. Графіки зсуву шпинделя у верстатах з ЧПУ в результаті теплових деформацій: а) - при безперервній роботі на допоміжному ходу; б) - на багатоопераційному верстаті з ЧПУ при обробці заготовок декількома різними інструментами

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 (ГВ), 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 урахувати 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 завантажуються 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.

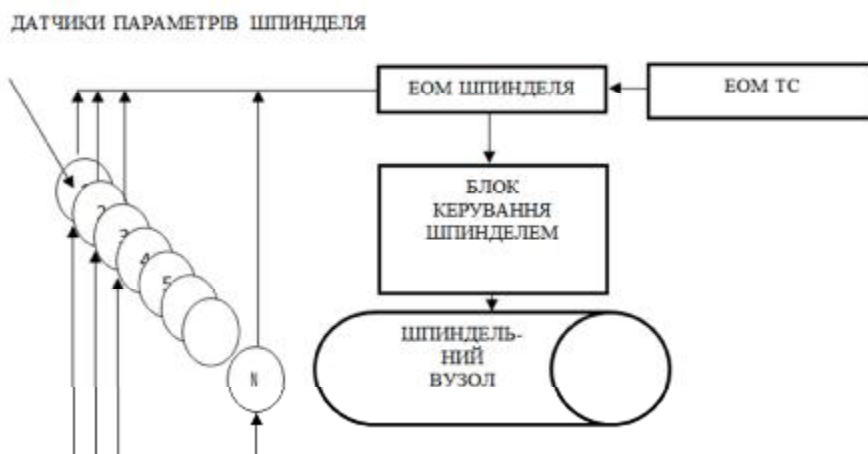


Рис. 3. Блок-схема шпинделя із саморегулюванням параметрів

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

ви 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

Вісник Сумського національного аграрного університету

$r(t) = \varphi_i(A_1 \dots A_k, B_1 \dots B_n, C_1 \dots C_m, X_{t1} \dots X_{tk}, t),$ (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 шпindelьного вузла,
 t – параметр наробітку.
 Принципова схема шпindelьного вузла зображена на рисунку 4.

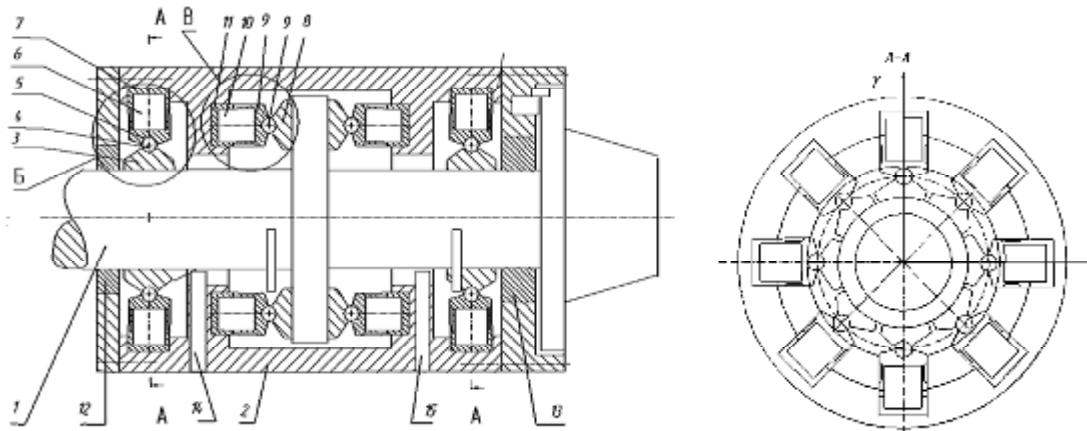


Рис. 4 Шпindelьний вузол

Шпindelьний вузол працює наступним чином. Перед початком обертання шпindelя 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 шпindelя. 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 величиною 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 шпindelьним вузлом.

Усунути радіальне зусилля й вібрацію з боку натягу приводного паса, або радіальні й осьові зусилля від шестерної передачі можна, об'єднавши. Перевага шпindelьних 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 шпindelьного 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 оснащений 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.

Список використаної літератури:

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.

Бондарев С.Г., Ребрый А.Н., Рыбенко И.А., Рясна О.В. Концептуальное направление проектирования прецизионных металлорежущих станков

Шпindelьний вузол призначений для лезвийної обробки поверхностей вращення заготовок, як металлических, так и изготовленных из чугуна. Данный вузол призначений 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.

Bondarev S., Rebryy A., Rybenko I., Rysna O. 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, dazvolyye 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.

Стаття надійшла в редакцію 4.05.2015р.

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

УДК 531.32

**ТЕОРИЯ СКЛАДНОГО РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ НА ПЛОЩИНІ.
АБСОЛЮТНЕ ПРИСКОРЕННЯ. ЗАДАЧІ НА ДИНАМІКУ ТОЧКИ**

С. Ф. Пилипака, д.т.н, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України

А. В. Чепіжний, Сумський національний аграрний університет

Розглянуто складний рух точки, відносно переміщення якої відбувається в рухомому триграннику кривої, заданої натуральними рівняннями. Переносний рух тригранника визначається диференціальними характеристиками кривої. Доведена правомірність використання формул Френе для знаходження абсолютного прискорення точки в проекціях на орти рухомого тригранника. Розв'язано задачі на динаміку матеріальної точки, здійснено візуалізацію отриманих результатів.

Ключові слова: тригранник, крива, матеріальна точка, прискорення Кориоліса, система координат, швидкість руху, абсолютне прискорення.

Постановка проблеми. Теорія складного руху матеріальної точки має чітку завершену форму і наведена в усіх підручниках із теоретичної механіки. Однак застосування супровідного тригранника Френе певної кривої (траєкторії переносного руху), у якому здійснює відносний рух матеріальна точка, дає можливість знаходити кінематичні параметри руху з використанням

широко відомих в диференціальній геометрії формул Френе. У цьому випадку змінним параметром служить не час руху t , як загальноприйнято в класичній теоретичній механіці, а дугова координата s – довжина дуги траєкторії переносного руху. Більш широко постановка проблеми розглянута в праці [1].

Аналіз останніх досліджень. Натураль-