

УДК 621.941

О.В. Шевченко, д-р техн.наук, Т.Г. Гримуд
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м.Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ НА ТОКАРНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВЕРСТАТАХ ШЛЯХОМ МІКРОРЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ РІЗЦЯ

Одним из путей решения проблемы повышения точности и производительности обработки на токарных автоматизированных станках является использование инструментальной оснастки с упругими направляющими для микрорегулировки положения режущего инструмента с целью компенсации систематических составляющих погрешности токарной обработки. В статье приведены требования к такой оснастке и рекомендации по проектированию.

One of ways of the decision of a problem of increase of accuracy and productivity of processing on the turning automated machine tools is use of tool equipment with elastic ways for microadjustment of the cutters for compensation of regular components of an error of turning processing. In article the requirements and the recommendation about designing of tool equipment with elastic ways are given.

Вступ. Величини похибок, що виникають при обробці деталей на токарних автоматизованих верстатах, залежать від багатьох факторів, що здійснюють систематичний або випадковий вплив на технологічну систему верстата. Причинами виникнення систематичних похибок є температурні деформації, знос різального інструменту та рухомих вузлів верстата. В наслідок цього точність обробки деталей на таких верстатах без періодичного підналагодження не перевищує 9-11 квалітету і при цьому за робітником-оператором залишається один з найважливіших етапів – процес розмірного настроювання верстата, трудомісткість виконання якого може досягати 80% від загальних позациклових витрат часу. Під час обробки на верстаті, що оснащений підналагоджувальним пристроєм, відбувається неперервне або періодичне слідкування за розмірами оброблених деталей, а за результатами вимірювань подається команда до примусового зміщення рівня розмірного настроювання верстата. Таким способом утримується у потрібних межах розсіювання розмірів деталей.

Серед верстатів токарної групи можна виділити окремі типи верстатів, у яких внаслідок особливостей конструкції корекція положення різального інструменту в процесі обробки не може бути введена приводом подач. Це токарно-револьверні верстати без проміжного повзуна, одно- та багатошпindelні токарні автомати. Експлуатація цих верстатів пов'язана з необхідністю тривалого збереження запасу точності, тривалістю та трудомісткістю їх налагодження та підналагодження. Для вказаних верстатів необхідно передбачити додаткові пристрої, що працюють в мікрометричному діапазоні та оснащені механізмами мікрометричного регулювання різального інструменту. Переміщень такої точності важко досягти звичайними передачами типу гвинт-гайка внаслідок сил тертя, що призводять до стрибкоподібного руху, кінематичним похибкам та до низької точності позиціонування.

Постановка задачі. Основною складністю забезпечення точного позиціонування різального інструменту є отримання мікропереміщень при забезпеченні необхідної жорсткості передачі. Принципи, на яких можуть бути побудовані пристрої мікропереміщення проілюстровані на рис.1. [1, 2], де позначено: 1 – передача гвинт-гайка з редуктором; 2 – важіль; 3 – клин; 4 – пружний елемент, що працює на кручення; 5 – пружний елемент, що працює на згин; 6 – пружний елемент з поперечним розширенням при поздовжньому стисканні; 7 – передавальний механізм з послідовно з'єднаних пружних елементів меншої та більшої жорсткості, в якому дія малої сили на великому шляху X_1 викликає мале переміщення X_2 жорсткого елемента; 8 – сильфон, що подовжується пропорційно величині підведеного тиску; 9 – мембрана, що деформується з подачею тиску; 10 – стрижень, що деформується внаслідок електричного нагріву; 11 – сильфон, що заповнено рідиною з електричним підігрівом; 12 – стрижень, що деформується при зміні напруженості магнітного поля (магніострикція); 13 – стрижень, що деформується під дією електричної напруги (електрострикція). Недоліками механізмів, що використовують в конструкціях принципи 1, 2, 3 є зовнішнє тертя та зазори в передачах, що сприяють виникненню стрибків та „мертвих ходів” при зміні напрямку переміщень. Механізми, що використовують принципи 4 – 13, вільні від зовнішнього тертя та зазорів та здатні забезпечити точні переміщення в мікрометричному діапазоні.

Результати проведених досліджень. У відповідності до вказаних вимог розроблено ряд конструкцій різцетримачів.

На рис. 2 наведено конструктивну схему автономного пристрою з гідромеханічним приводом позиціонування різця та напрямними у вигляді пружного паралелограму [6]. Різцетримач може бути використаний в на одно- та багатошпindelних токарних верстатах.

Мають застосування також механізми, у яких одночасно використовують різні принципи отримання мікропереміщень. Принципові схеми механізмів позиціонування інструментів, в яких використані основні принципи отримання мікропереміщень наведені в табл. 1.

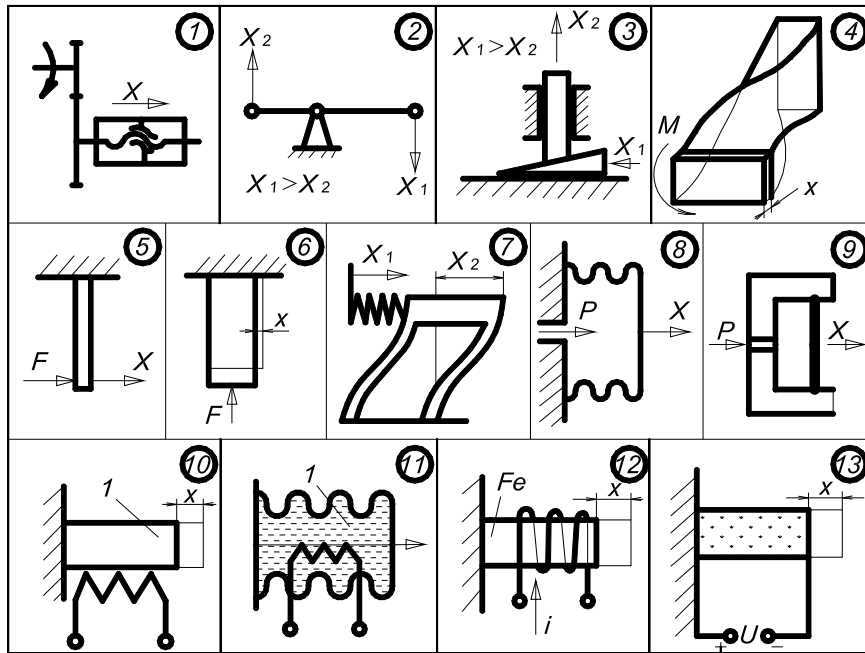


Рис. 1. Основні принципи отримання мікропереміщень

Як показав огляд відомих пристроїв та механізмів для здійснення мікропереміщень, найбільше розповсюдження отримали пристрої, в яких елементи приводу мікропереміщень зв'язані між собою пружними напрямними чи шарнірами. Вони забезпечують високу точність позиціонування, внаслідок відсутності зовнішнього тертя та зазорів в останній передачі від приводу до різального інструменту.

Аналіз конструктивних особливостей відомих пристроїв з механізмами підналагодження інструменту, технологічних можливостей автоматизованих токарних верстатів та типових деталей, що обробляються на них [3], дозволяє встановити основні вимоги до пристроїв з мікрорегулюванням положення інструменту, а саме:

- найбільший хід різального інструменту $0,25 \div 0,3$ мм, що визначається за критерієм зносу різальних кромки і, наприклад, для твердосплавних різців при чистових операціях приймається $h_s = 0,2 \div 0,25$ мм [4];
- стабільність положення вершини різального інструменту при позиціонуванні $0,5 \div 1,0$ мкм;
- крок підналагодження в діапазоні $1,0 \div 10,0$ мкм при дискретному позиціонуванні інструменту, що визначається вимогами до точності обробки із розрахунку $\frac{1}{4}$ частини поля допуску на розмір поверхні, що обробляється [5];
- жорсткість за напрямками дії складових сили різання не нижче $10 \div 20$ Н/мкм;
- лінійна залежність між переміщенням вершини інструмента (різця) та вхідною дією в приводі при позиціонування в напрямках до деталі та від деталі.

Результати проведених досліджень. У відповідності до вказаних вимог розроблено ряд конструкцій різцетримачів.

На рис. 2 наведено конструктивну схему автономного пристрою з гідромеханічним приводом позиціонування різця та напрямними у вигляді пружного паралелограму [6]. Різцетримач може бути використаний в на одно- та багатшпіндельних токарних верстатах.

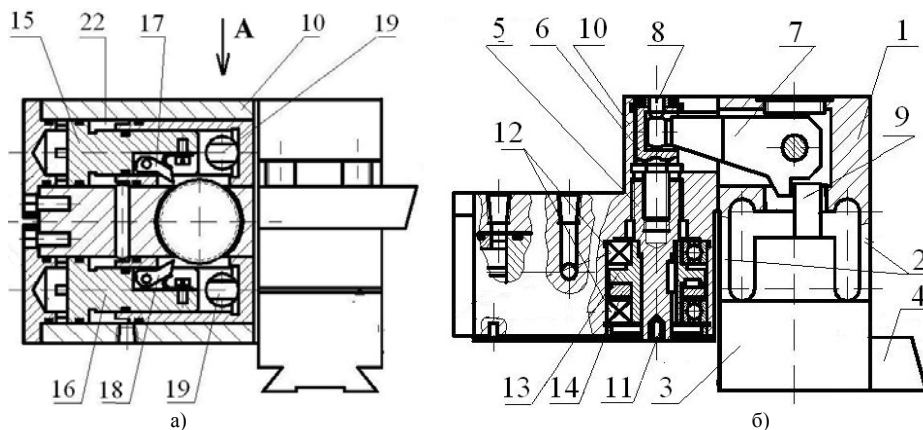


Рис. 2. Різцетримач з гідромеханічним приводом мікрорегулювання положення різця:
а) – конструктивна схема; б) – вид А на рис. 2, а

Принципові схеми механізмів позиціонування різальних інструментів

Вхідний вплив на виконавчий орган	Перетворювач	Переміщення на вході					
		В напрямних із зовнішнім тертям		Пружне		Термічне	Магніто-(електро)стрикційне
		Лінійне	Поворот	Лінійне	Поворот	Лінійне	Лінійне
Переміщення (S)	Гвинт-гайка					—	—
	Важіль					—	—
	Клин					—	—
	Ексцентрик (кулачок)					—	—
	Зубчаста передача					—	—
	Черв'ячна передача					—	—
Напруження (U)	Стержень з електропідгрівом						—
	Сильфон с електропідгрівом						—
	Магнітостриктор					—	
Температура (T)	Тепловий елемент						—
Тиск (P)	Сильфон					—	—
	Поршневий (мембранний)привод					—	—

Різцетримач складається з корпусу 1, що встановлений на супорті верстата та з'єднаний за допомогою паралельних пружних елементів 2 з віджимною частиною 3 з різцем 4. Пружні елементи 2 є напрямними у вигляді пружного паралелограму, що забезпечують можливість переміщення віджимної частини 3 відносно корпусу 1 під дією приводу. Привод мікропереміщення складається з диференціального гвинта 5, повзуна 6 та двоплечого важеля 7, що взаємодіє через гвинт 8 з повзуном 6 та елементом 9 віджимної частини 3. Сили пружних деформацій ділянок 2 через елемент 9 та важіль 7 передаються вздовж осі штовхача 6. Внаслідок цього штовхач 6 та контактуючий з ним

диференціальний гвинт 5 навантажені однонаправленою осьовою силою, яка, вибираючи зазори у гвинтових з'єднаннях, замикається на корпус приводу 10. Таке конструкція приводу мікропереміщення забезпечує вибірку зазорів при реверсах у приводі, що підвищує точність позиціонування різця. Гвинт 8 призначений для попереднього натягу пружних елементів.

Для здійснення автоматичного керування в корпусі приводу 10 на опорах 12 встановлені храпові колеса 13 та 14 із зустрічним зубом, пов'язані з гвинтом 5. Для реверсивного обертання храпових коліс в корпусі 8 виконані гідроциліндри з поршнями 15 та 16, в яких встановлені собачки 17 та 18. В крайньому лівому положенні поршнів собачки не контактують із храповим колесом, що дає можливість при зворотно-поступальних переміщеннях поршнів забезпечити реверсивне обертання храпових коліс з гвинтом 5. Поворотні упори 19 призначені для регулювання осьового ходу поршнів з метою вибору величини кроку підналагодження різця.

Для ручного мікрорегулювання положення різця на токарно-револьверних верстатах розроблено ряд конструкцій різцетримачів з пружними напрямними [7, 8, 9].

Різцетримач (рис. 3) складається з корпусу 1, з'єданого за допомогою паралельних пружних напрямних 2 з віджимною частиною 3. У віджимній частині 3 виконані поверхні 4 та 5 для базування різця 6. Пружні елементи 2 забезпечують можливість зміщення віджимної частини 3 відносно корпусу 1 в напрямку радіальної подачі.

Привод мікропереміщення віджимної частини 3 складається з диференціального гвинта 7 з різницею кроків двох гвинтів 0,25 мм, штовхача 8, що зафіксований від повороту та має можливість осьового переміщення, кривошипно-повзунного механізму з віссю напрямної 9, що проходить через центр шарніра точку К паралельно напрямлюючій поверхні 5, причому шарнір утворений між гвинтом попереднього натягу 10 та шатуном 11. Кривошипно-повзунний механізм включає в себе шатун 11 та двоплечий кривошип 12 з віссю повороту 13, що пов'язаний більшим плечем $L1$ із штовхачем 8, а меншим плечем $L2$ через шатун 11 та гвинт 10 із віджимною частиною 3. Позиціонування різця в мікрометричному діапазоні забезпечується за рахунок попереднього натягу в пружних напрямних та значної редукції в кривошипно-повзунному механізмі.

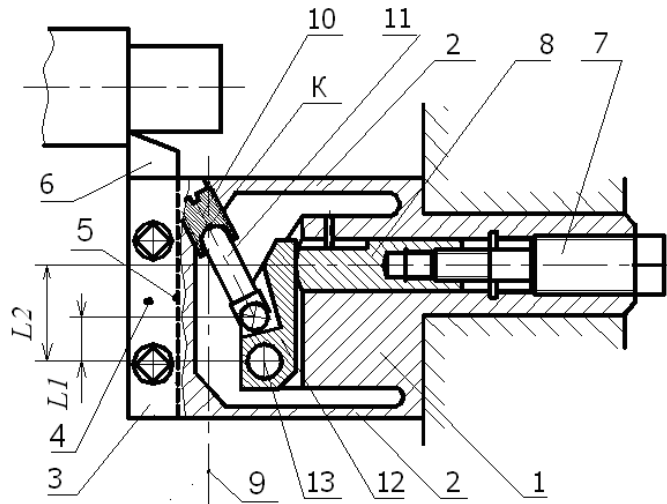


Рис. 3. Різцетримач з напрямними у вигляді пружного паралелограма для ручного мікрорегулювання різця [7]

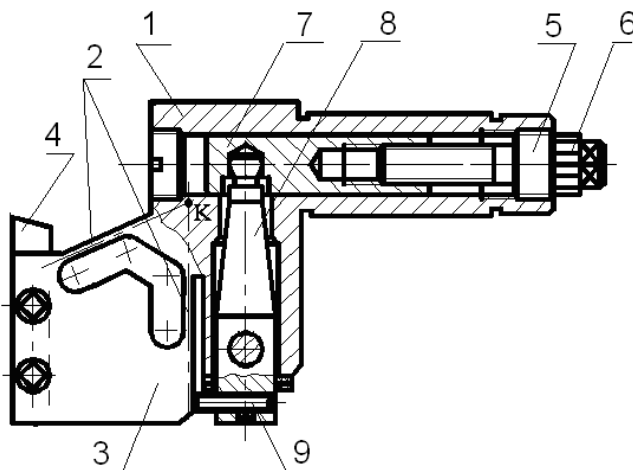


Рис. 4. Різцетримач з пружним шарніром для ручного мікрорегулювання різця [9]

важіль 8 вздовж осі штовхача 7 та навантажує гвинт 5 однонаправленою осьовою силою, яка вибираючи зазори в різьбах замикається на корпус 1.

Дослідження характеристик різцетримача (рис.2) дали наступні результати:

- найбільша величина позиціонування різця при автоматичному керуванні від приводу мікрорегулювання – 0,17 мм;
- привод дозволяє отримати три дискретних кроки підналагодження різця $t = 1,5; 2,5; 3,3$ мкм при стабільності положення різця після підналагодження до 0,5 мкм;

Різцетримач (рис. 4) для обробки коротких тіл обертання має корпус 1 та зв'язану з ним пружними елементами 2 віджимну частину 3 з різцем 4. Пружні елементи 2 утворюють між корпусом та віджимною частиною пружний шарнір.

Привод мікропереміщень складається з диференціального гвинта 5 з упором 6, штовхача 7, важеля 8 та гвинта попереднього натягу 9. Пружні елементи отримані в результаті виконання наскрізних пазів та розміщені таким чином, що лінія перетину їх нейтральних площин, що проходить через точку К, розміщена в площині, що є дотичною до оброблюваної поверхні типової деталі. Переміщення вершини різця від приводу здійснюється за рахунок деформацій пружних елементів 2, а саме поворот навколо осі з проекцією в точці К. Сила пружних деформацій елементів 2 від віджимної частини передається через гвинт 9 і

- залежність ходу різця від переміщення штовхача приводу близька до лінійної, при цьому практично відсутні мертві ходи при реверсуванні;
- жорсткість віджимної частини з різцем за напрямками дії складових сили різання P_x , P_y та P_z складає відповідно $c_x = 524$ Н/мкм, $c_y = 62$ Н/мкм та $c_z = 105$ Н/мкм.

Параметри жорсткості віджимної частини різцетримача (рис. 3) аналогічні попередній конструкції. Разом з тим, треба відмітити незначну нелінійність переміщення вершини різця, що визначається особливостями приводу мікрорегулювання.

Дослідження характеристик різцетримача (рис. 4) дали наступні результати:

- найбільша величина позиціонування різця – 0,3 мм;
- середнє значення кроку підналадження при повороті гвинта приводу на кут 30° складає $2,5 \pm 0,25$ мкм;
- залежність ходу різця від переміщення в приводі близька до лінійної, при цьому практично відсутні мертві ходи при реверсуванні;
- жорсткість віджимної частини з різцем за напрямками дії складових сили різання P_x , P_y та P_z складає відповідно $c_x = 1600$ Н/мкм, $c_y = 64$ Н/мкм та $c_z = 70$ Н/мкм.

Результати порівняння динамічних характеристик різцетримача з пружними напрямними та штатного різцетримача, що встановлені в револьверній головці верстата приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Частоти власних коливань та логарифмічні декременти коливань різцетримачів

№ п/п	Об'єкт вимірювання	Основна частота, Гц		Логарифмічний декремент коливань, λ	
		напрямок P_y	напрямок P_z	напрямок P_y	напрямок P_z
1	Серійний різцетримач	120	92	0,3	0,2
2	Різцетримач з мікрорегулюванням різця	385	315	0,26	0,17

За результатами аналізу віброграм затухаючих коливань та спектрів частот власних коливань вказаних різцетримачів, можна зробити наступні висновки:

- частоти власних коливань серійного різцетримача близькі до частот власних коливань зафіксованої планшайби, що пояснюється малою масою різцетримача по відношенню до маси планшайби та високою жорсткістю його закріплення;
- частоти власних коливань різцетримача з мікрорегулюванням різця відрізняються від частот власних коливань елементів супортної групи верстата, що разом із зменшеною жорсткістю віджимної частини може створити умови, при яких такий різцетримач буде здійснювати домінуючий вплив на рівень відносних коливань різця і деталі при різанні знижуючи вібростійкість пружної системи верстата.

Для визначення ефективності використання різцетримачів з мікрорегулюванням різця при різанні по відношенню до обробки штатним різцетримачем верстата проведено обробку двох партій деталей-зразків при різних режимах різання, результати яких наведено на рис. 5.

Висновки. Аналіз результатів досліджень за рис. 5 показав, що відхилення від круглості деталей, оброблених різцетримачем з мікрорегулюванням різця при чистових та напівчистових режимах в діапазоні швидкостей різання $V = 80 \div 240$ м/хв. та подачі $S = 0,06$ та $0,12$ мм/об аналогічне деталям, обробленим штатним різцетримачем.

В діапазоні швидкостей різання $V = 240 \div 400$ м/хв. відхилення від круглості деталей, оброблених різцетримачем з мікрорегулюванням різця, більше, ніж деталей, оброблених штатним різцетримачем, що можна пояснити підвищенням сил різання і збільшенням впливу системи інструменту на рівень відносних коливань різця і деталі при різанні.

Таким чином, різцетримачі з мікрорегулюванням різця можуть ефективно використовуватись при чистовій та напівчистовій обробці деталей. При цьому підвищення точності обробки партій

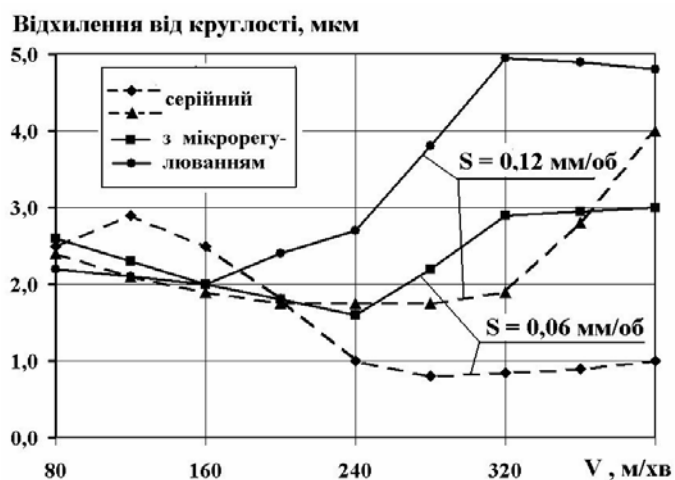


Рис. 5. Графіки залежності значень відхилень від круглості поверхонь деталей оброблених на токарно-револьверному верстаті різцетримачами штатним та з мікрорегулюванням різця від швидкості різання V та подачі S при глибині різання $t = 0,5$ мм

деталей здійснюється за рахунок компенсації систематичних похибок, що, в деяких випадках, дозволяє виключити з технологічного процесу операції фінішної обробки деталей, замінюючи їх тонким точінням з мікрорегулюванням різця.

Введення розмірного регулювання зменшує верстатні витрати часу за рахунок: - зменшення штучного часу обробки деталей; - зменшення витрат на заробітну платню введенням багатOVERстатного обслуговування та зниження вимог до кваліфікації персоналу; - зменшення витрат на різальний інструмент за рахунок повного використання періоду його стійкості; - зменшення витрат на контрольні операції, так як контроль здійснюється в процесі обробки; - зменшення витрат на брак за рахунок зниження вірогідності його виникнення.

Список літератури

1. Пуш В.Э. Малые перемещения в станках.- М.: Машгиз, 1961.- 124с.
2. Электрогидравлические устройства малых перемещений//ЭИ. Автоматические линии и металлорежущие станки. М.: ВИНТИ, 1980. №42. С.6-11.-Пер.ст. Stollberg H., Tensler V. Elektrohydraulische feinpositioniereinrichtung // Maschinenbautechn.-1980, 29, N 4, - с. 162 - 164.
3. Повышение производительности и надежности токарно-револьверных станков / В.Н.Шишкин, В.Е.Лоев, Л.И.Новицкий, А.В.Шевченко. - Киев: Техніка, 1986. - 95с.
4. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1982.- 320 с.
5. Драгун А.П. Вспомогательный инструмент для токарно-револьверных станков.-Л.:Машиностроение.Ленингр.отд-ние,1979.-192с.
6. Резцедержатель: А.с. 1399001 СССР: МКИ В23В 29/034 / А.В.Шевченко, А.В.Кухарец, А.И.Торопов, В.И.Рудов.- Оpub. 30.05.88, Бюл. N 20.- 4с.
7. Різцетримач: Декларційний патент України № 4186: МПК 7 В23В 29/03/ О.В.Шевченко, Д.О.Шевченко, В.А.Ріпка.- Оpub. 17.01.2005, Бюл. N 1.- 3с.
8. Резцедержатель: А.с. 1284719 СССР: МКИ В23В 29/03 / А.В.Шевченко, В.Н.Шишкин, В.Е.Лоев.- Оpub. 23.01.87, Бюл. N 3.- 3с.
9. Резцедержатель: А.с. 1399000 СССР: МКИ В23В 29/034 / А.В.Шевченко, А.В.Кухарец.- Оpub. 30.05.88, Бюл. N 20.- 3с.

УДК.621.923

Ю.В. Петраков, д-р.техн.наук, проф., В.В. Писаренко, магістр
НТУ України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ПІДГОТОВКА ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ШТУЧНОГО СУГЛОБА ЛЮДИНИ ДО ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

В статье представлен новый подход к подготовке исходных данных 3-D модели для последующего использования в САМ-системе автоматизированного программирования станка с ЧПУ на примере искусственного сустава человека. Доказано, что геометрическая модель сустава должен учитывать систему формообразующих координат станка, которая минимизирована по количеству управляемых осей. Разработан метод и прикладная программа определения оптимальных координат технологической оси при обработке на станке с ЧПУ.

In the article the new method is presented near preparation of basic data of 3-D model for the subsequent use in CAM-system of the automated programming of machine-tool with CNC on the example of artificial joint of man. It is well-proven that geometrical model of joint must take into account the system of shape-generating co-ordinates of machine-tool, which is minimized on the amount of the guided axes. A method and application program of determination of optimum co-ordinates of technological ax is developed at machining on a machine-tool with CNC.

Актуальність. За останні роки, все більше людей потребують заміни власних колінних суглобів на штучні. Тільки в США за 2007 рік було зроблено 600 тис. таких операцій. Колінний суглоб кожної людини має сугубо індивідуальну геометричну форму, що обумовлює значні труднощі при його моделюванні та виготовленні.

Специфічна складна геометрична форма суглоба, вимагає застосування сучасних верстатів з ЧПУ і спеціалізованих САМ-систем автоматичної підготовки управляючої програми. При технологічній підготовці виробництва будь-якої складної 3-D поверхні перший крок пов'язаний з вибором кінематичної схеми формоутворення [1]. На цьому етапі треба приймати до уваги не тільки форму деталі, а й вид оброблення різанням (лезова чи абразивна обробка), що залежить від матеріалу деталі і технічних вимог.

Огляд технологій, які застосовуються для виготовлення ендопротезів, доводить, що наразі відсутні усталені рішення відносно формоутворення подібних деталей на верстатах з ЧПК. Для їх виготовлення застосовують