

УДК621.881

І. Луців, докт. техн. наук; В. Шарик

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

БАГАТОРІЦЕВА ГОЛОВКА ДЛЯ ТОНКОГО ТОЧІННЯ З ПРУЖНИМИ НАПРЯМНИМИ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ

***Резюме.** Запропоновано конструкцію багаторіцевої головки адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння, в якій керування положення різця в процесі обробки відбувається через електромагнітний двонаправлений привод різцетримачів із мікроконтролерним інтелектуальним керуванням.*

***Ключові слова:** багатолезова обробка, мехатронні інструментальні головки, мікропроцесорна система керування, прецизійна механіка.*

I. Lutsiv, V. Sharyk

MULTIEDGE HEAD FOR FINE TURNING WITH ELASTIC GUIDES AND ELECTROMAGNETIC DRIVE

***Summary.** The paper deals with the design development of fine turning multi edge head of adaptive type with elastic guides in which the turning tool position control in the process of machining is performed by the bidirectional electromagnetic drive of tool holders with intellectual control system based on microcontrollers.*

The modern problems of fine turning as well as the problems of machining accuracy and continuous chip breakage are analyzed and search directions of manufacturing and constructive design solutions are defined.

In addition to machining technology and tools improvement the conceptually new mechatronic head is developed on the base of precession mechanics, electronics, electro engineering techniques integration with particularly regard to the multi edge machining of adaptive type. Constructive design combination of operational and driving units of cutting machines linear and rotational motion mechanisms that realize the direct-action drive conception allows improving the accuracy, response speed and reducing capacity losses. The presence of automatic control system and manufacturing process control sensing elements incorporated in the given design makes the head intellectual and autonomous that allows creating advanced designs of metal cutting machine units.

The tool holders of the head are rigidly connected with the electromagnet armatures that are steadily fixed to the head body. On the electromagnet armatures the elastic elements in the form of thin plates are mounted. These plates with their free ends are fixed to the bars that are connected with a head body. Except that the plates are dressed with the strain measuring sensors (SMS). SMS are connected with an amplifier as well as with microprocessor-based control system and synchronous and augmentation system. In a case of increasing of local allowance (i.e. depth of cut) as well as increasing of local hardness at one of the tools an axial cutting force occurs that is larger than each of the axial forces on the other tools. This causes the force disbalance and accordingly the respective tool displacement. The control system sends a signal of misalignment to the two other electromagnets in this way increasing the feed of the tools and adjusting the axial and radial cutting forces that deform the work piece.

The similar head development and using changes actually the view on a machining technology problem transferring it to the system level that includes complex interrelations between design, manufacturing, assembling, adjusting, programming, operation, repair and maintenance as well as utilization. The design engineering of multi edge heads with electromagnetic drive provides the new design approach to the creating machines with totally new characteristics.

On the base of the given calculations the following comparable investigations of machining accuracy are performed dealing with the single tool machining of cantilever work piece, single tool machining with the follow rest use and turning with the help of the developed three edge head.

As a result the proposed control system gives the possibility to response quickly to the material extraneous impurities while machining as well as redistribute cutting forces in the process of cutting edges wear

in the multi edge tools. The information data recording to the independent memory is also available with the following computer analyzing.

Key words: *multi edge machining, mechatronic tool heads, microprocessor-based control system, precession mechanics.*

Вступ. Для металорізальних верстатів під час оцінювання їх якості головними є показники, пов'язані з точністю і якістю обробки поверхонь. Для виконання свого службового призначення машина повинна відповідати визначеним якісним показникам. Досягнення необхідної якості машин і її деталей із найменшими затратами є одним з основних завдань машинобудування загалом і лезової обробки зокрема.

Проблема та її актуальність. Проблема наукового обґрунтування найраціональніших умов здійснення токарної обробки деталей машин на верстатах, що забезпечують підвищення точності і якості поверхневого шару цих деталей при одночасному підвищенні техніко-економічних показників виробництва, є важливою та актуальною, що являє не тільки науковий, але й значний практичний інтерес [1]. При цьому тонке точіння є однією з фінішних і найважливіших операцій обробки у сучасному машинобудуванні. Точність обробленої поверхні вала є важливим фактором надійності роботи як окремих механізмів, так і машин в цілому. Під час токарної обробки одним різцем виникають пружні деформації, які негативно впливають на шорсткість поверхні деталі, розмірну точність, точність форми, хвилястість, стійкість інструменту та довговічність верстата. Також існує проблема дроблення стружки. Вказані фактори призводять до погіршення точності та якості поверхні, а також зменшення продуктивності металооброблюваного обладнання. Для вирішення означених задач на основі прогнозу й аналізу розвитку верстатобудування можна виділити основні напрямки пошуку технологічних і конструктивних рішень, які полягають у якісній зміні конструкцій металорізальних верстатів та інструментів і значному підвищенні продуктивності й точності верстатів і оснащення, реалізації технології швидкісної обробки, широкій уніфікації верстатів, використанні принципів агрегатно-модульного конструювання і застосування мехатронних систем. Тому поряд із удосконаленням технології обробки, інструментів розробляються принципово нові мехатронні головки на базі інтеграції засобів прецизійної механіки, електроніки, електротехніки, зокрема для багаторізевої обробки адаптивного типу.

Аналіз існуючих джерел. Питанням розроблення методів обробки нежорстких валів багаторізовими головками, їх конструкції присвячено роботи авторів [2, 3]. Проте цілий ряд питань потребують додаткового дослідження і на сьогодні не отримали свого вирішення.

Виклад основного матеріалу. Підвищення ефективності обробки зовнішніх поверхонь обертання можна здійснити шляхом встановлення закономірностей впливу міжінструментальних зв'язків на процес багатолезової обробки та їх використання для створення багатолезового оснащення адаптивного типу з пружними напрямними. Поставлена задача створення з широкими технологічними можливостями трирізевої головки, в якій шляхом використання електромагнітного механізму керування осьовими складовими сил різання забезпечувалася б висока чутливість до миттєвих змін складових сил різання на різцях, стабілізація сил різання, а також можливість керування зміною подач на кожному із різців і отримання вібраційного різання. Тому поряд із удосконаленням технології обробки, інструментів, розробляються принципово нові мехатронні головки на базі інтеграції засобів прецизійної механіки, електроніки, електротехніки, зокрема для багаторізевої обробки адаптивного типу.

Конструктивне поєднання виконавчого і приводного елементів механізмів лінійних і обертових переміщень верстатів, що реалізує концепцію привода прямої дії дозволяє підвищити точність, швидкодію, знизити витрати потужностей.

Наявність у даних конструкціях умонтованих систем автоматичного керування і давачів контролю технологічного процесу робить мехатронні головки інтелектуальними, автономними, з яких можна створити конструкції перспективних металообробних вузлів. Принципово новим підходом є забезпечення складного взаємозв'язаного руху робочих органів не за рахунок складної механіки, а з допомогою електроніки, програмного керування і точної вимірювальної техніки. В науковому плані задача створення мехатронних інструментальних головок для металообробних верстатів полягає не в елементарному поєднанні механіки та електроніки, а у створенні методів аналізу їх роботи. В першу чергу, це відноситься до механічної частини. Створення і застосування мехатронних головок принципово змінює погляд на технологію обробки, переводячи її на системний рівень, що включає складні взаємозв'язки між проектуванням, виготовленням, складанням, налагодженням, програмуванням, експлуатацією, ремонтом та утилізацією. Створення мехатронних головок забезпечує принципово новий концептуальний підхід до конструювання машин з якісно новими характеристиками. Весь комплекс задач проектування і технології механічної обробки на металорізальному верстаті впливає на конструкцію і систему керування головкою. Тому можна говорити про конкретний клас мехатронних головок, а саме для токарної обробки.

В Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин запропоновано конструкцію багаторізевої головки адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння.

На рис. 1 запропоновано конструкцію багаторізевої головки з пружними напрямними адаптивного типу, на рис. 3 – функціональну схему роботи багаторізевої головки для тонкого точіння [4]. Головка складається з корпусу 1, у якому через 120° виконано три прямокутні наскрізні вікна, у яких розміщені три різцетримачі 3, які за допомогою пружних пластинчастих напрямних 10 клинів 2 і 7 та гвинтів з'єднаний із корпусом 1. У різцетримачах 3 встановлені виставлені на розмір різці 4, положення яких відносно поздовжньої осі корпусу зафіксовано гвинтами 17. Різцетримачі жорстко з'єднані з якорями електромагнітів 5 з допомогою гвинтів. Ці електромагніти нерухомо прикріплені до корпусу за допомогою фланця 6 та гвинтів 8. На якорях встановлені пружні елементи у вигляді пластин 18, які закріплені другим кінцем до штанг 15, що кріпляться до корпусу, причому пластини 18 оснащені тензометричними давачами 16. Тензометричні давачі з'єднані з тензопідсилювачем 12, мікропроцесорною системою керування 13 та системою погодження й підсилення 14.

Головка працює таким чином. Спочатку її встановлюють у крайньому правому положенні, щоб вершини різців 4 знаходилися біля заднього центра пінолі. Потім головку налагоджують, використавши програмне забезпечення, при допомозі якого на електромагніти 5 подають струм і якори переміщують у напрямі подач (справа наліво) і при цьому деформують пружні пластинчасті напрямні 10, що призводить до переміщення вершин різців у радіальному напрямі від центра до периферії. Заготовку встановлюють у патроні верстата і за допомогою заднього центра повертають різці у виставлене на заданий розмір положення. Включають обертання шпинделя і подачу. При досягненні контакту різців, в яких головний задній кут строго однаковий (забезпечується одночасним загостренням різців при їх базуванні у спеціальному пристрої), починається процес різання. У випадку, коли на одному із різців, наприклад, через збільшення локального припуску (а, значить, і глибини різання), чи локального збільшення твердості, виникає осьова складова сили різання P_{x1} , яка більша від осьових складових на двох інших різцях і при цьому порушується стан рівноваги, що призводить до переміщення різця зліва направо. Це призводить до деформації пружної пластини 18 і разом з нею і тензометричного давача 16 сигнал, з якого у вигляді

збільшення сили електричного струму подається на тензопідсилювач 12, після чого підсилений сигнал подається на мікропроцесорну систему керування 13, яка, в свою чергу, через систему погодження й підсилення 14 подає сигнал більшої сили струму на два інші електромагніти, змушуючи цим самим переміщувати їх якори справа наліво, збільшуючи подачу на різцях, і вирівнювати їхні осьові складові сил різання, а, значить, і радіальні складові P_{y1} , P_{y2} , P_{y3} , що діють на заготовку, забезпечуючи при цьому рівнодійну P_y , яка дорівнює нулю. Таким чином, використання запропонованої головки дає можливість недопустити радіальної деформації вала під час обробки і забезпечити високу точність та низьку жорсткість обробленої поверхні.

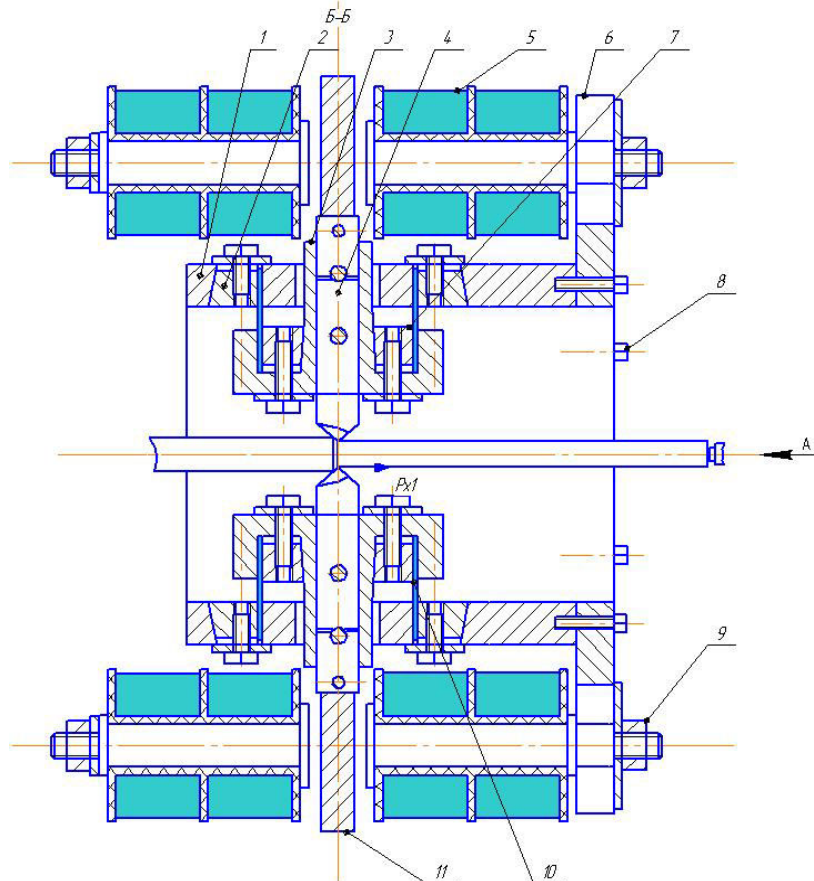


Рисунок 1. Конструкція багаторізевої головки для тонкого точіння з пружними напрямними та електромагнітним приводом

Figure 1. Design of multi edge head for fine turning with the elastic guides and electromagnetic drive

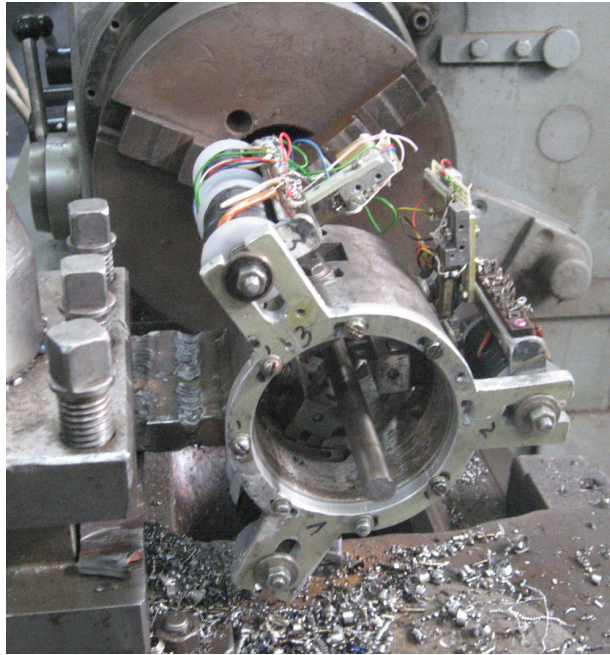


Рисунок 2. Фото багаторізевої головки для тонкого точіння з пружними напрямними та електромагнітним приводом, встановленої на токарно-гвинторізальному верстаті 16К20

Figure 2. Picture of the multi edge head for fine turning with the elastic guides and electromagnetic drive at the engine lathe 16K20

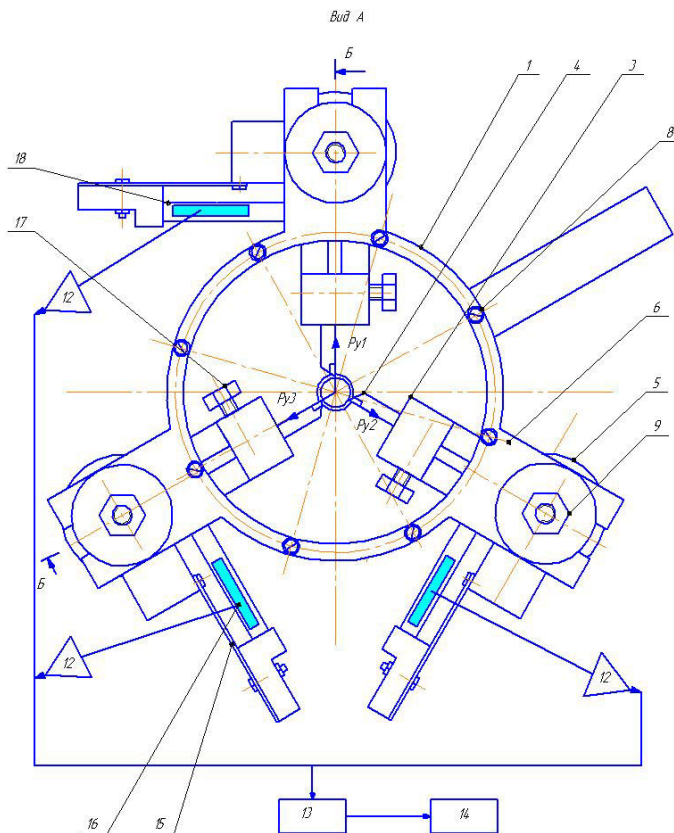


Рисунок 3. Функціональна схема роботи багаторізевої головки для тонкого точіння

Figure 3. Functional diagram of the multi edge head for fine turning

Для оцінювання ефективної роботи запропонованої головки проведемо порівняльні дослідження точності обробки нежорстких циліндричних деталей при одноінструментальній обробці консольно закріпленої заготовки, при обробці з використанням люнета, та з використанням розробленої трирізцевої головки.

Метою даного дослідження є спроба теоретично визначити ефективність використання багаторізцевої обробки при точінні нежорстких циліндричних деталей. При цьому маємо на увазі, що значний вплив на точність виготовлення деталей обертання має жорсткість системи верстат-інструмент-деталь, яка значною мірою залежить від деформації заготовки, що виникає під впливом складових сил різання. При розрахунках врахуємо реальні похибки закріплення заготовки в патроні верстата – δ_n та закріплення різця відносно осі заготовки – δ_p .

Розглянемо перший варіант обробки, при якому різання здійснюється одним різцем (рис. 4). Деталь закріплена в патроні токарного верстата з ексцентриситетом δ_n . З боку різця, встановленого з похибкою δ_p відносно осі заготовки, на неї діють складові сили різання: P_x – осьова, P_y – радіальна, P_z – тангенціальна.

Під час обробки під дією складових сил різання заготовка деформується [5].

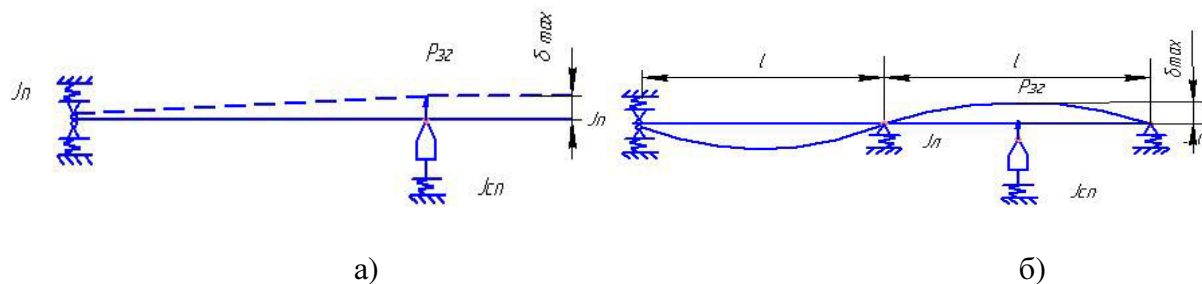


Рисунок 4. Розрахункові схеми обробки: а) – консольно закріпленої заготовки одним різцем; б) – обробка заготовки, закріпленої в патроні і в центрі одним різцем з люнетом

Figure 4. Calculation schemes of: a) – single tool machining of the cantilever fixed work piece; b) – single tool machining of the work piece clamped in a chuck with lunettes using

Величину прогину δ_{\max} визначаємо за формулою

$$\delta_{\max} = \mu P_{32} \frac{L^3}{3EI} + P_{32} \left(\frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{j_n} \right) + \delta_n + \delta_p, \quad (1)$$

де $P_{32} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}$, причому для гострих різців $P_{32} = \sqrt{1,25}P_z$, а для затуплених – $P_y = P_z$ $P_{32} = \sqrt{2}P_z$;

$I = \frac{\pi D^4}{64}$ – момент інерції; D – діаметр оброблюваної деталі; E – модуль пружності; $J_{\text{суп}}$ – жорсткість супорта; J_n – жорсткість патрона; L – довжина деталі; μ – коефіцієнт динамічності.

При огляді методу обробки одним різцем з люнетом і закріпленням у патроні і в центрі отримуємо величину прогину δ без урахування похибок закріплення заготовки і різця визначаємо за формулою

$$\delta = P_{3z} \left[\frac{L^3 \mu}{102EI} + \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{j_n + 0.5j_l} + \frac{1}{j_{3б} + 0.5j_l} \right) \right], \quad (2)$$

де J_l – жорсткість люнета; $J_{3б}$ – жорсткість задньої бабки.

При точінні й розміщенні люнета посередині деталі найбільший прогин буде у випадку, коли навантаження діє посередині прольоту.

$$\delta_{\text{max}} = 0.015P_{3z} \left[\frac{L^3 \mu}{EI} + \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{J_n + 0.5J_l} + \frac{1}{J_{3б} + 0.5J_l} \right) \right] + \delta_n + \delta_p. \quad (3)$$

Для порівняння розглянемо обробку деталі трирізцевою головкою з вирівнювальним механізмом (рис. 5).

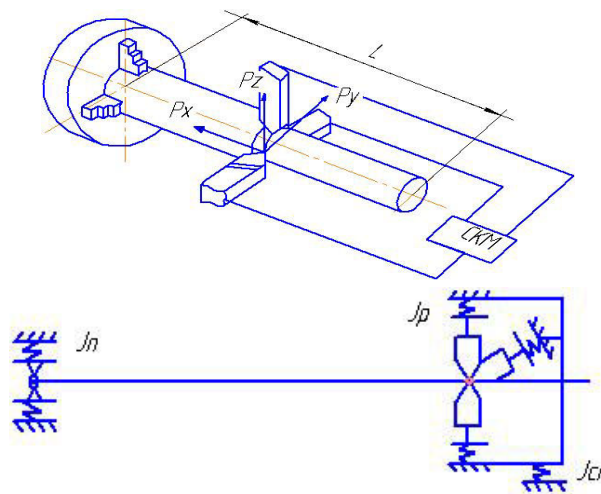


Рисунок 5. Схема обробки циліндричної деталі трирізцевою головкою

Figure 5. Cylindrical work piece machining scheme with three edge head

Як бачити зі схеми, при обробці деталі трьома різцями заготовка фактично затискається між ними. В цьому випадку змінюється схема закріплення заготовки – з одного боку вона консольно закріплена в патроні верстата, а з іншого – шарнірно в трирізцевій головці. Між різцями встановлений механізм вирівнювання зусиль різання. У цьому випадку $P_{x1}=P_{x2}=P_{x3}$, $P_{y1}=P_{y2}=P_{y3}$. Таким чином, з боку осьових зусиль не виникає згинного моменту, що діє на заготовку. Згинний момент виникає тільки в результаті похибки закріплення заготовки в патроні токарного верстата з ексцентриситетом та похибки встановлення різців відносно осі заготовки.

Величину прогину в цьому випадку визначаємо за формулою

$$\delta_{\text{max}} = P_{3z}^* \left[\frac{L^3 \mu}{3EI} + \frac{1}{J_{\text{суп}}^*} + \frac{1}{j_n} + \frac{1}{3j_p} \right] + \delta_n + \delta_{p_{\text{max}}}^*, \quad (4)$$

де j_p – жорсткість різця.

При цьому згинаюче зусилля буде мати вигляд

$$P_{зс}^* = \Delta P_Y = \beta_{\max} P_{зс} \quad (5)$$

Згідно з експериментом $\beta_{\max} = 0,01 \div 0,02$.

За результатами розрахунків будуємо графіки залежності прогину деталі від її довжини, графіки залежності прогину деталі від її діаметра, графіки порівняння прогину з використанням люнета та трирізцевої головки в діапазоні довжин 120 – 160 мм та в діапазоні довжин 220 – 260 мм, де $\delta_{\max 1}$ – максимальний прогин при обробці консольно закріпленої деталі одним різцем; $\delta_{\max 2}$ – максимальний прогин при обробці деталі, закріпленої в патроні і в центрі одним різцем з люнетом; $\delta_{\max 3}$ – максимальний прогин при обробці деталі трирізцевою головкою з механізмом вирівнювання зусиль різання.

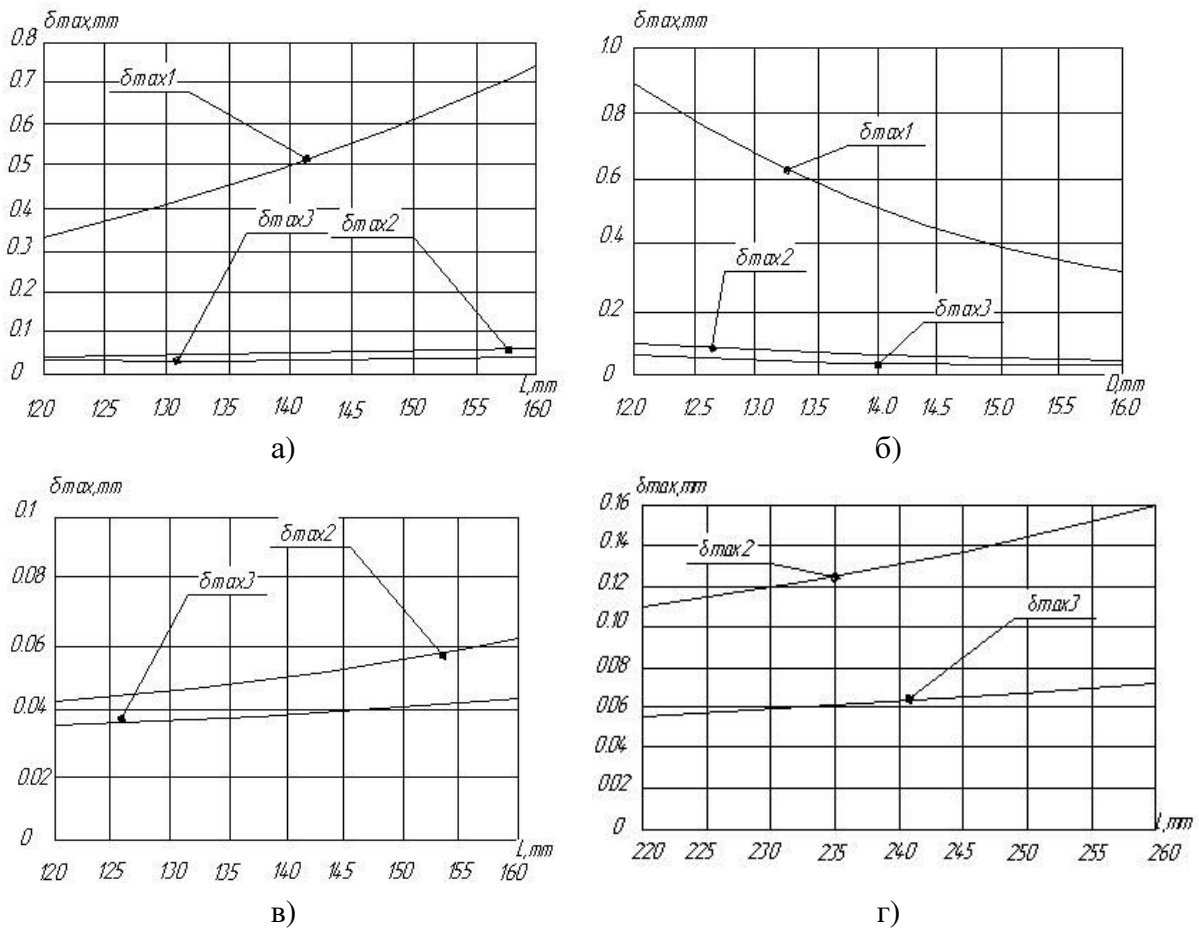


Рисунок 6. Графіки залежності: а) – прогину деталі від її довжини; б) – прогину деталі від її діаметра; в) – порівняння прогину з використанням люнета та трирізцевої головки в діапазоні довжин 120 – 160 мм; г) – порівняння прогину з використанням люнета та трирізцевої головки в діапазоні довжин 220 – 260 мм.

Figure 6. Dependences graphs: a) – work piece deflection of its length; б) – work piece deflection of its diameter; в) – comparison of deflections when using lunettes and three edge head in the work piece length range 120 – 160 mm; г) – comparison of deflections when using lunettes and three edge head in the work piece length range 220 – 260 mm

Порівняння залежностей прогинів деталі різними методами обробки показує, що при обробці трирізцевою головкою прогин деталі є найменшим для різних довжин та діаметрів. Навіть з урахуванням використання додаткових пристроїв, що потребують значних затрат при налагодженні (при обробці деталі, закріпленої в патроні і в центрах із використанням люнета), отримуємо (рис. бв, г), що зі збільшенням довжини заготовки застосування трирізцевої головки дає можливість отримати значно менші прогини, що дозволяє із меншими похибками обробляти деталі більшої довжини.

Висновки. Розроблено нову конструкцію багаторізцевої головки для тонкого точіння з пружними напрямними та електромагнітним мікропроцесорним керуванням. Встановлено, що використання розробленої головки дає можливість забезпечувати високу чутливість до миттєвих змін складових сил різання на різцях, стабілізацію сил різання, а також можливість керування зміною подач на кожному із різців і отримання вібраційного високоточного різання.

Застосування трирізцевої головки з механізмом вирівнювання зусиль різання впливає на те, що жорсткість технологічної обробної системи значно підвищується, тому що головка служить додатковою опорою та запобігає прогину деталі і зменшенню похибок при обробці довгомірних деталей.

Conclusions. A new design of multi edge turning head with elastic guides and electromagnetic microprocessor-based control system is developed. It has been determined that the application of the developed head makes it possible to provide high sensitivity to instantaneous changes in the components of cutting forces on the turning tools, stabilizing the cutting forces. The head also gives the ability to control the tool feeds variations as well as the performing of vibration high precision cutting.

The analysis testifies that the use of the three edge head mechanism of cutting forces alignment influences significantly the rigidity of the technological machining system increasing it, so that the head is an additional support and prevents work piece deflection reducing long dimension parts cutting inaccuracies.

Список використаної літератури

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія [Текст] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин; упоряд. Ю.М. Кузнецов. – Тернопіль: Тернограф, 2011. – 692 с.
2. Патент України на корисну модель №98052536, МПК В23 В29/24. Багаторізцева головка [Текст] / П.Д. Кривий, С.Г. Нагорняк, І.В. Луців, Г.О. Юхименко; заявл. 15.05.1998; опубл. 15.12.2000, Бюл. №7.
3. Пат. 2069606 Российская Федерация, МПК В23 В29/32. Многорезцовая головка [Текст] / Б.М. Сойкин, Ю.В. Белоусов, С.А. Князькин. – №94007053/08; заявл. 21.02.1994; опубл. 27.11.1996, Бюл. № 28.
4. Луців, І.В. Багаторізцеве оснащення адаптивного типу з пружними напрямними [Текст] / Ігор Луців, Володимир Шарик // Теорія і практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій. – Львів, 2012. – С. 77 – 78.
5. Колев, К.С. Вопросы точности при резании металлов [Текст] / К.С. Колев. – М.: Машгиз, 1961. – 131 с.

Отримано 27.05.2013