

Луців І. Якість точіння багаторізцевими головками з пружними напрямними й електромагнітним приводами / І. Луців, В. Шарик // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 123-134. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 621.881

І. Луців, докт. техн. наук; В. Шарик

*Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя*

ЯКІСТЬ ТОЧІННЯ БАГАТОРІЗЦЕВИМИ ГОЛОВКАМИ З ПРУЖНИМИ НАПРЯМНИМИ Й ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДАМИ

Резюме. Запропоновано експериментальну установку, що складається з багаторізцевої головки адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння, в якій керування положення різців у процесі обробки відбувається через електромагнітний двонаправлений привод різцетримачів з мікроконтролерним інтелектуальним керуванням. Експериментально доведено ефективність вирівнювання зусиль різання з допомогою розробленої установки на основі алгоритмів керування, що передбачають стабілізацію як рівнодійної осьових складових сил, так і сумарних переміщень різальних елементів.

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

I. Lutsiv, V. Sharyk

QUALITY OF TURNING USING MULTIEDGE HEADS WITH ELASTIC GUIDES AND ELECTROMAGNETIC DRIVES

Summary. The paper deals with experimental facilities including adaptive type multi edge head with elastic guides for fine turning. The adjustment of the head cutting edges positions in the process of machining is performed by two- directional electromagnetic drives with micro controller based on intellectual control. The algorithm and software control program to solve the problem of automated accuracy supply of the parts machining technological processes are given. It is established that the proposed head operation makes possible to provide high level response to momentary changes of cutting force components at cutting edges as well as cutting forces stabilization. It is also possible to control the feed change of each cutting tool and to obtain the vibration less high precession cutting process of fine turning.

The experimental research was carried out to prove the efficiency of cutting forces equalization, when using the constructed facilities on the base of control algorithms, that cover either the resultant axial forces maintenance or summarized displacement of cutting edges. The conducted analysis allows to conclude that using of multi edge head with cutting forces equalization mechanism influences on the efficient increasing of the technological machining system rigidity. This in its turn makes possible to decrease the influence of cutting forces components on the part manufacturing accuracy.

The parameters of the machined work pieces roughness as well as the geometric shape accuracy were investigated using profilometer-profilograph of 296 model and roundness measuring machine BE-20A. As a result this research testified the multi edge head working efficiency and adequate correspondence of experimental and theoretical investigations (the error is from 10 to 30%).

It makes possible to decrease the chip-cutting time and non-productive machine time and to increase of the machining productivity while providing the necessary machined surface quality.

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

Постановка проблеми. Сучасний стан машинобудування в Україні потребує уважного ставлення до випуску технологічного оснащення металообробного обладнання. В даний час у зв'язку із забезпеченням конкурентоспроможності вітчизняної продукції як на внутрішньому, так і на світовому ринках до її якості ставляться високі вимоги.

Завдання підвищення техніко-економічної ефективності процесів різання вирішується одним із таких методів: призначенням змінних режимів різання з використанням емпіричних методик і методик, що враховують тільки один змінний параметр; шляхом використання вузькоспеціалізованих верстатів або пристосувань; використанням систем адаптивного керування процесом різання. Динамічна зміна режимних

умов обробки в системах адаптивного керування відбувається на основі постійного моніторингу процесу різання, що дозволяє враховувати навіть ті фактори, які є невідомими на етапі технічної підготовки виробництва [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При обробці поверхонь обертання для підвищення її ефективності й забезпечення вимог до точності виготовлення деталей доцільно застосовувати автоматизоване верстатне оснащення й оснащення адаптивного типу [2]. Суть самоналагоджувального різання при цьому полягає в тому, що однакоvim різальним лезом, які розміщені симетрично відносно оброблюваної поверхні, забезпечено по одному ступеню вільності в напрямку, який співпадає з напрямком подачі, а зазначені леза пов'язані між собою в цьому напрямку з допомогою механізмів чи засобів, які здійснюють кінематичний міжінструментальний зв'язок адаптивного типу [3]. В загальній структурі технологічної системи різання таке верстатне оснащення носить визначальний характер [4].

При розробленні й проектуванні багаторізевого оснащення виникає велика кількість можливих варіантів функціональних схем і конструкцій. Мета проектування полягає у пошуку й виконанні оптимальної конструкції багаторізевого оснащення на основі вибору структурної схеми, що буде відповідати підвищенню продуктивності й точності верстатів і оснащення [5]. 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.

Мета роботи. На основі експериментальних досліджень з допомогою розробленої дослідної установки забезпечити підвищення ефективності обробки зовнішніх поверхонь обертання шляхом встановлення закономірностей впливу міжінструментальних зв'язків на процес багатолезової обробки та їх використання для створення багатолезового оснащення адаптивного типу, створення з широкими технологічними можливостями багаторізевої 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.

Постановка задачі. Основним принципом, закладеним в ідею прогресивної багатолезової обробки адаптивного типу з електромагнітним приводом, є те, щоб були враховані інформаційні й динамічні властивості всіх елементів системи, що функціонує на основі принципу зворотного зв'язку, для виконання цільового завдання, а саме для забезпечення регулювання перехідних процесів різання. Пружні деформації, які негативно впливають на шорсткість поверхні деталі, розмірну точність, точність форми, хвилястість, стійкість інструменту та довговічність верстата призводять до погіршення точності та якості поверхні, а також зменшення продуктивності металооброблюваного обладнання.

Для вирішення означених задач на основі прогнозу й аналізу розвитку сучасних конструкцій 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.

Результати досліджень. На кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя розроблено багаторізцеву головку (рис.1) та експериментальну установку для її дослідження (рис.2). Головка складається з корпусу 1, у якому через 120° розміщені три різцетримачі 2, які за допомогою пружних пластинчастих напрямних 3 з'єднані з корпусом 1. У різцетримачах 2 встановлені виставлені на розмір різці 4. Різцетримачі жорстко з'єднані з якорями електромагнітів 5, і ці електромагніти нерухомо прикріплені до корпусу. На якорях встановлені пружні елементи у вигляді пластин 6, причому ці пластини оснащені тензометричними давачами 7. Електромагніти, як виконавчі органи та пружні елементи з тензодатчиками, з'єднані з системою ЧПК.

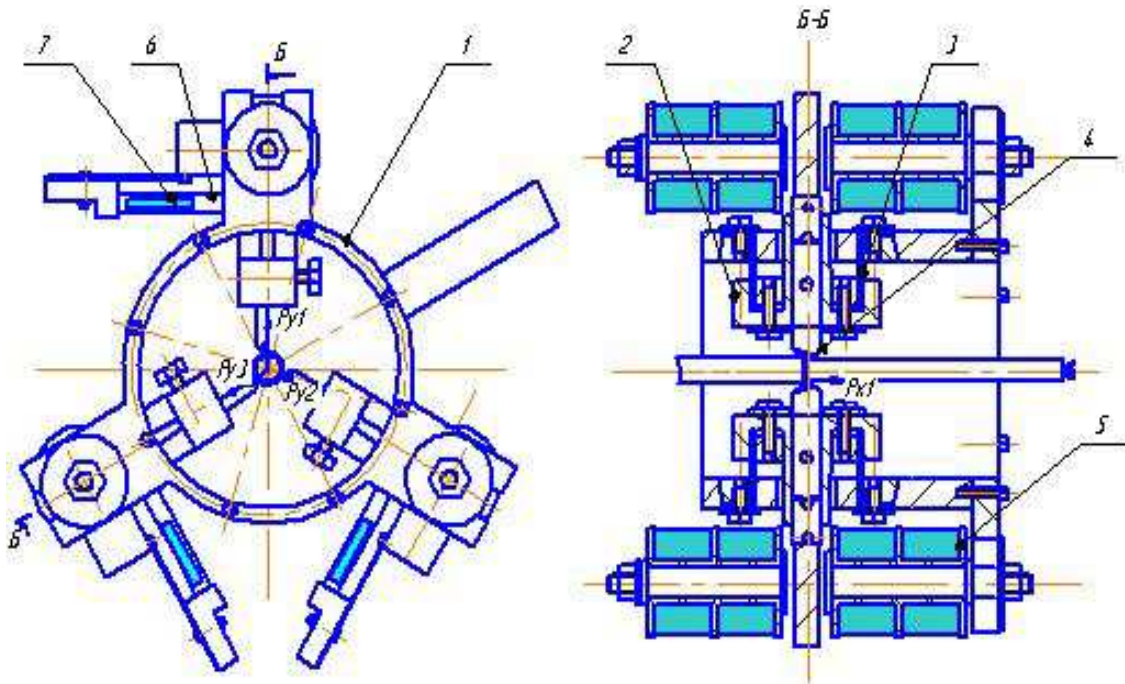


Рисунок 1. Схема конструкції багаторізевої головки з пружними напрямними та електромагнітним приводом

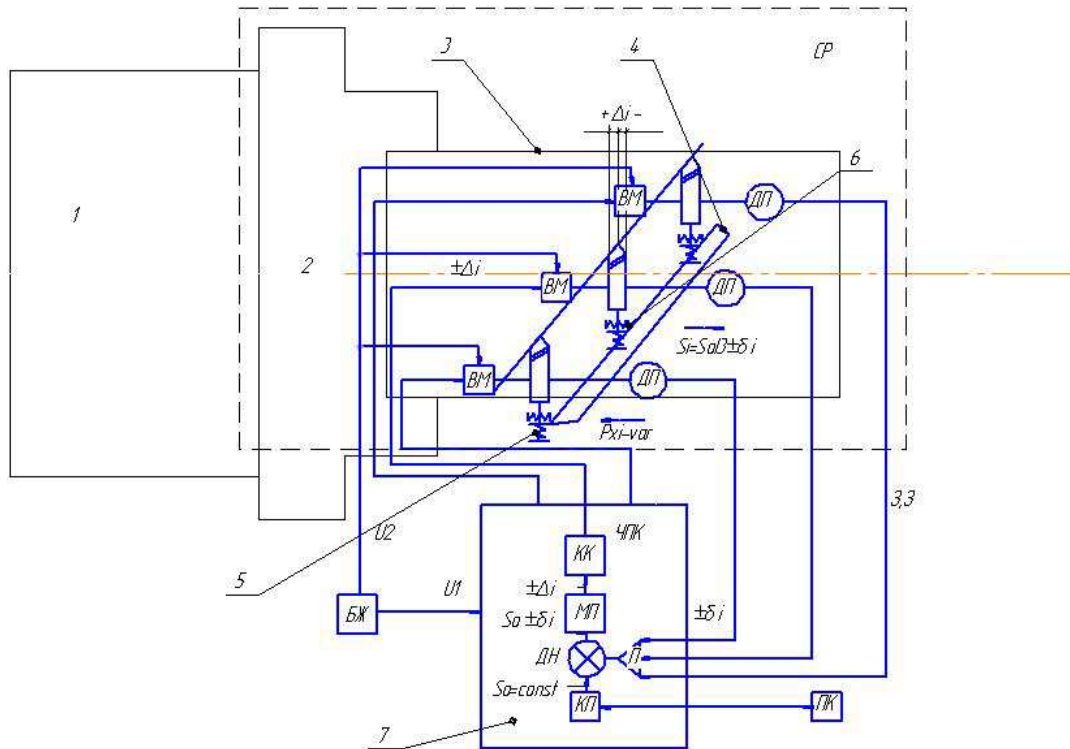
Figure 1. Scheme of multi edge head with the elastic guides and electromagnetic drive

Блок-схема експериментальної установки наведена на рис.2.

Система різання СР включає в себе верстат 1, пристосування 2, заготовку 3, багаторізеву головку 4 з пружними напрямними 5 та електромагнітами 6 і систему ЧПК 7. До останньої входять підсилювач П, керуючий пристрій КП, датчик неузгодження ДН, мікропроцесор МП та ключі керування КК. Експериментальна установка також включає блок живлення БЖ і систему керування та реєстрації у вигляді персонального комп'ютера ПК. У керуючому пристрої та в ПК записані програми обробки.

У процесі обробки на верстаті виставлено подачу супорта S_0 . Подачі ж окремих різців $S_0/3$ під дією змінних складових зусиль різання P_{xi} у невеликих межах змінюються на величину $\pm\delta_i$. Ці величини фіксують датчики положення ДП і по лінії зворотного зв'язку ЗЗ через підсилювачі П подають сигнали на датчики неузгодженості ДН, в яких керуючий сигнал і сигнал неузгодженості сумуються та подаються на мікропроцесор МП. У мікропроцесорі за спеціальною програмою цей сигнал опрацьовується і в результаті подається остаточний сигнал $\pm\Delta$ на керуючі ключі КК виконавчих механізмів ВМ. Дані ВМ забезпечують компенсацію пружних переміщень різців на величину $\pm\Delta$ для забезпечення положення різальних кромки інструменту в заданому положенні.

Блок живлення БЖ забезпечує живлення ВМ та системи ЧПК. На ПК проводиться реєстрація у вигляді графіків положення різців та потужності на ВМ у вигляді лінійних діаграм, а також фіксація величини переміщень у вигляді числових таблиць.



CP – система різання, П – підсилювач, КП – керуючий пристрій, ДН – датчик неузгодження, МП – мікропроцесор, КК – ключі керування, ВМ – виконавчий механізм, БЖ – блок живлення, ПК – персональний комп'ютер.

Рисунок 2. Блок-схема експериментальної установки

Figure 2. Block diagram of the experimental setup

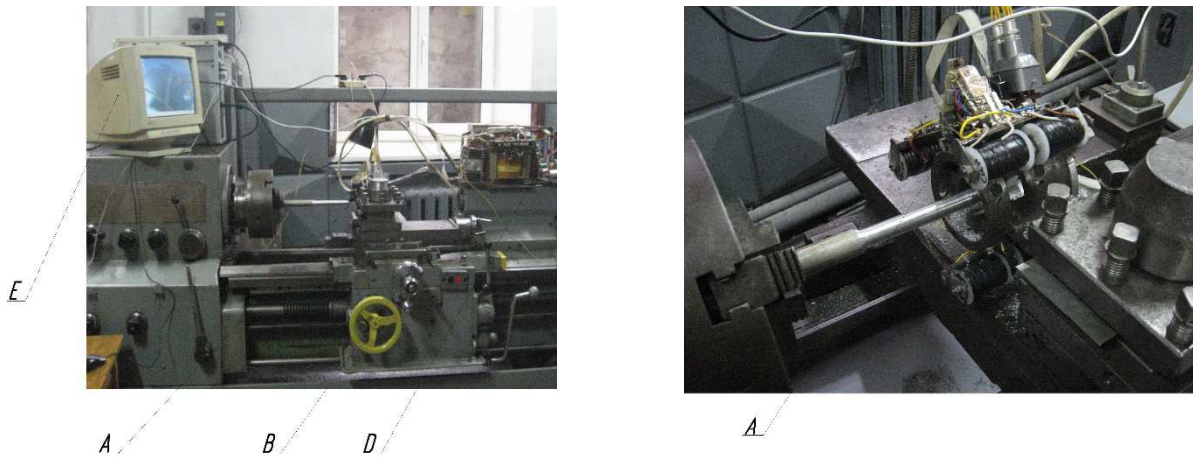


Рисунок 3. Фото експериментальної установки на верстаті 16K20

Figure 3. Photo of the machine tool 16K20 experimental setup

На рис.3 показано фотографії експериментальної установки, що розроблена у лабораторії для досліджень на верстаті 16K20, у різцетримачі якого закріплено багаторіздцеву головку А адаптивного типу з пружними напрямними. Справа на підставці розташований блок з мікропроцесорною системою керування В та блок живлення D. Зліва на шпиндельній бабці знаходиться персональний комп'ютер ПК Е для реєстрації записів деформації пружних елементів, збереження отриманих результатів та відслідковування переміщення і керуючої

потужності для токарних різців. Результати переміщень різців у вигляді графіків і числових значень та потужності на електромагнітах виводиться у робочому вікні програми (рис.4).

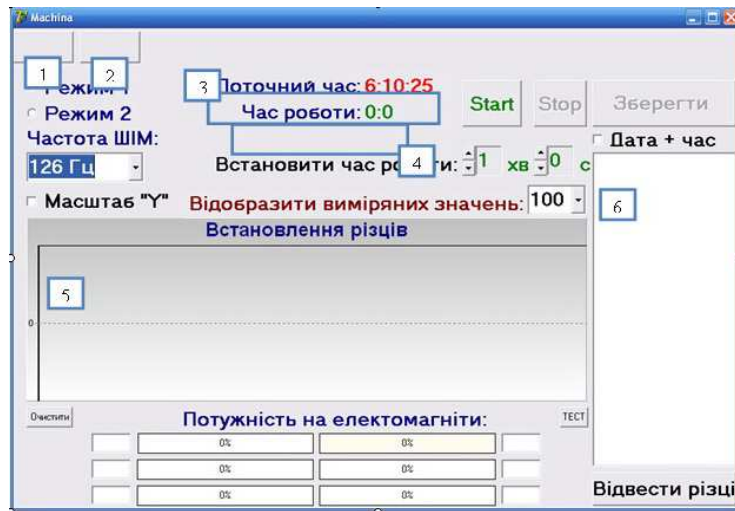


Рисунок 4. Вигляд робочого вікна програми для ПК

Figure 4. View desktop Windows application for PC

Щоб почати вимірювання, необхідно встановити з'єднання із мікроконтролером керування за допомогою кнопки (поз.1), при цьому з'являється діалогове вікно (рис.5), у якому слід вибрати СОМ-порт, а також швидкість передавання (38400 бот).

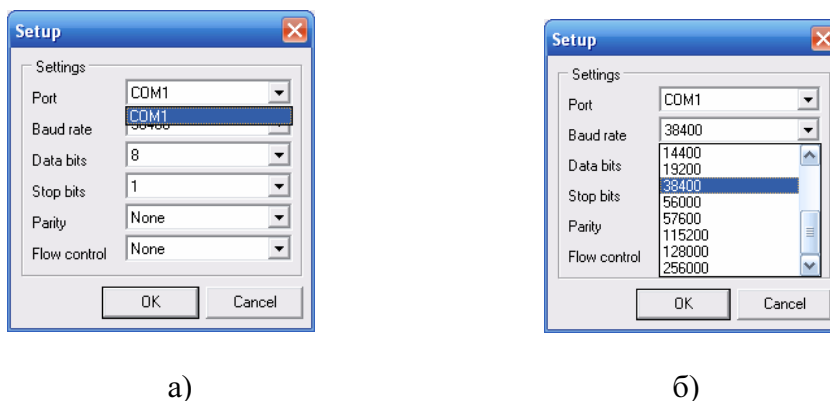


Рисунок 5. Вибір СОМ-порта (а), вибір швидкості передавання (б)

Figure 5. COM port choice (a), data rate selection (b)

Кнопка (поз.2) встановлює з'єднання із платою керування, якщо кнопка натиснена – з'єднання встановлено, в іншому випадку – з'єднання відсутнє.

У полі (поз.3) відображається поточний, системний час, який зчитується із ПК.

У полі (поз.4) відображається час роботи установки.

Встановити часовий інтервал для роботи установки та проведення вимірювання можна, використовуючи кнопки біля запису «Встановити час роботи» та прописавши значення хвилин та секунд, або ввести кнопками перемикаччя «вверх-вниз».

Перемикачами можна вибрати перший (1) або другий (2) режими роботи. Перший режим 1 – це режим, при якому на електромагніт, що керує різцем, подається потужність, яка дорівнює 1/3 потужності від переміщення даного різця. Алгоритм працює таким чином: виконуємо вимірювання переміщення кожного із різців, далі фільтруємо отриманий результат. Визначаємо номер різця який, відстає: таку процедуру виконуємо перебором

вимірних значень переміщення і порівнюємо їх з мінімальним значенням. Якщо величина для і-го різця менша за мінімальне значення, то вважаємо, що і-тий різець відстає. Значення потужності, яке подається на кожен із електромагнітів керування, дорівнює різниці переміщення поточного значення різця від мінімального і яке поділене на три $EM1=(Зн.р.1-Зн.р.3)/3$.

Другий режим 2 забезпечує утримування різців в одній площині, для цього реалізований П-регулятор. Функціонування алгоритму наступне: вимірюємо переміщення кожного із різців, фільтруємо отриманий результат, вираховуємо середнє значення від переміщення кожного різця. Для кожного значення переміщення різців визначаємо відхилення від середньої величини (Δ). Далі додаємо Δ до величини, що відповідає попередній потужності, яка подавалася на електромагніт. Отриманий результат подаємо як керуючий на електромагніт різця і зберігаємо його як попереднє значення для наступної ітерації $EM1=Зн.р.1-с.з.+\Delta EM1$.

Встановлення вибору біля напису «Масштаб «Y»» забезпечує відображення повної шкали вимірювання по осі «Y» (127..128). В іншому випадку масштаб по «Y» відбудуватиметься за максимальним та мінімальним значеннями вимірювальних переміщень.

Кнопка Start запускає вимірювання, при цьому вона стає неактивною, а активується кнопка Stop. Відбувається запуск зворотного відліку таймера роботи у полі «Час роботи». Вимірювання проводиться до моменту закінчення встановленого часу роботи, або до натискання кнопки Stop. Після цього маємо можливість зберегти отримані значення, натиснувши на вказану кнопку, далі вибираємо шлях для збереження даних.

Виміряні значення візуально відображають у робочому вікні (поз.б). Виділивши пункт «Дата+час» до вимірних значень буде додано поле із системною датою та часом.

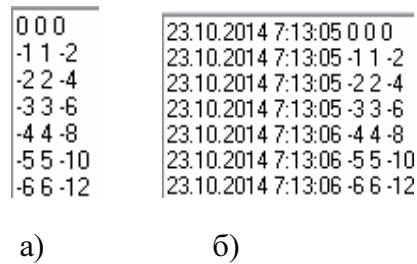


Рисунок 6. Формування запису вимірних переміщень різців без поля дати і часу (а), із полями дати і часу (б)

Figure 6. Measured tool displacement record formation without date and time field (a), with date and time field (b)

Кнопка «Відвести різці» задає потужність на кожен із електромагніт керування—97%. Таким чином різці зміщуються в одному напрямку, зупинка даного режиму виконується кнопкою Stop.

При виборі 1-го або 2-го режиму роботи експериментальної установки і натисканні на кнопку Start відбувається відображення вхідних значень. Вимірювання величини переміщення 3 різців відображається у вигляді графіків (рис.7). Також вказуються значення величин потужності, що подаються на електромагніти.

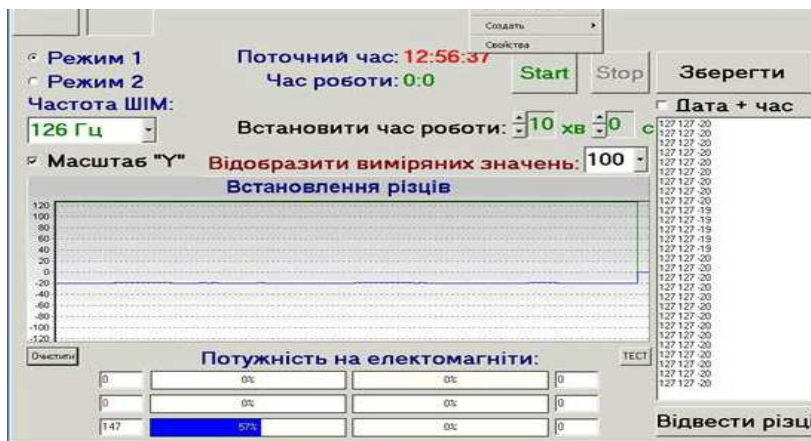


Рисунок 7. Відображення вимірювальних величин

Figure 7. Measured values display

Кнопка «Очистити» стирає усі відображені значення на графіку. Кнопка «ТЕСТ» додає до графічного відображення значення переміщення для кожного різця, а також змінює потужність роботи електромагнітів (такий режим призначений для тестування відображення виміряних значень, а до керування відношення не має).

За даними експериментальних досліджень будуємо графік руху різців у процесі по першому та другому режимах обробки (рис.8, 9).

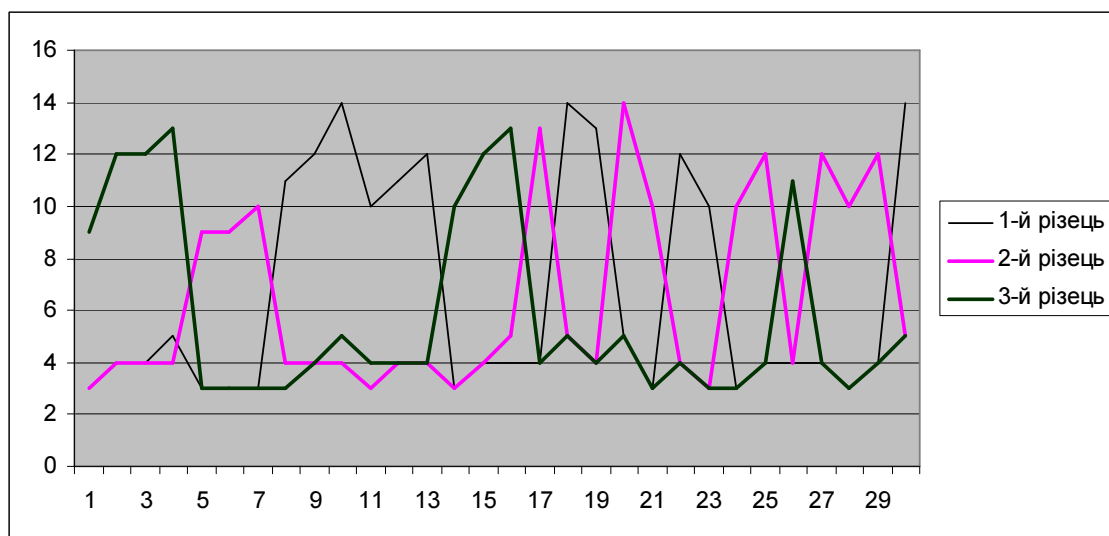


Рисунок 8. Графік руху різців при першому режимі обробки

Figure 8. Graphs of tools movement at the first machining mode

За графіком (рис.8) при першому режимі роботи бачимо, що в момент переміщення різця 1 у бік протилежний подачі різці переміщуються в напрямку дії подачі, компенсуючи зміщення різця 1. І відповідно при зміщенні різця 2 або 3 відбувається переміщення в протилежний бік 1, 2 або 3 різця. На графіку (рис. 9), що відповідає другому режиму роботи, при зміщенні одного різця система керування подає сигнал на його переміщення в початкове положення для забезпечення розміщення лез усіх інструментів в одній площині різання. Як в першому, так і другому випадку це забезпечує вирівнювання осьових, а, отже, і радіальних складових сил різання, стабілізацію як рівнодійної осьових складових сил, так і сумарних

переміщень

різальних

елементів.

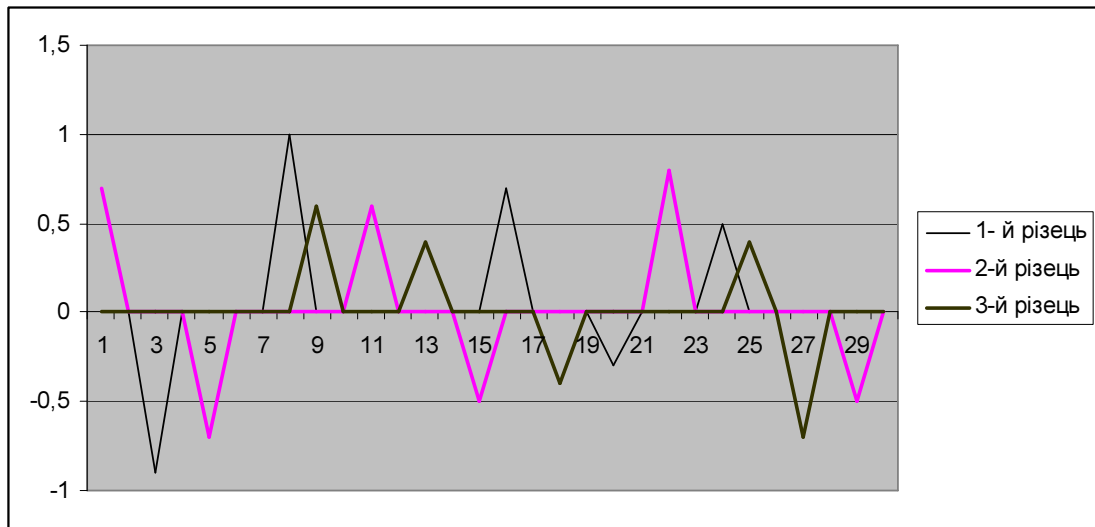


Рисунок 9. Графік руху різців при другому режимі обробки

Figure 9. Graphs of tools movement at the second machining mode

На рис.10 зображено зразки стружки при тонкому точінні багаторізецевою головкою адаптивного типу з пружними напрямними й електромагнітним приводом.



а)



б)



в)

Рисунок 10. Зразки стружки а), б) – після обробки деталі трирізецевою головкою адаптивного типу з пружними напрямними та електромагнітним приводом, в) – при однолезовій обробці

Figure 10. Cutting chip samples: a), b) after the piece work machining by the adaptive type three head with elastic guides and electro magnetic drive; c) under a single edge machining

У порівнянні з однолезовою обробкою використання багатолезової головки є ефективним і високопродуктивним методом зменшення макро- і мікропохибок обробки та неприпустимих коливань при різанні. Як бачимо з рис.10, під час обробки деталі трирізцевою головкою адаптивного типу з пружними напрямними та електромагнітним приводом стружка дробиться. Це доводить, що із застосуванням даної установки забезпечується високоточне вібраційне різання, що є надзвичайно важливим для утилізації стружки.



Рисунок 11. Фотографія обробленої деталі а) при однолезовій обробці, б) багаторізцевою головкою адаптивного типу з пружними напрямними та електромагнітним приводом

Figure 11. Machined parts photo a) after the single edge machining, b) after the piece work machining by the adaptive type three head with elastic guides and electro magnetic drive

Експериментальні дослідження параметрів шорсткості поверхні оброблених деталей та точності геометричної форми проводилися з допомогою профілометра-профілографа мод.296 (рис.12) та кругломіра ВЕ-20А.



Рисунок 12. Фотографія вимірювання шорсткості на профілометрі-профілографі мод.296

Figure 12. Photo of roughness measuring using profilometer-profilograph of 296model

Результати досліджень у систематизованому вигляді зведені у табл.1.

Таблиця 1

Зведена таблиця результатів вимірювання шорсткості Ra, мкм при обробці одним різцем та багаторізевою головкою

Матеріал заготовки S, мм/об	Сталь-45		Дюралюміній Д16		Нерж. 30X13	
	1 різець	різц.головк	1 різець	різц.головк	1 різець	різц.головк
0,05	3,1	1,9	0,5	0,3	0,42	0,38
0,075	4,7	2,9	0,42	0,26	0,5	0,3
0,1	5,4	3,4	0,61	0,38	0,51	3,1
0,125	3,6	2,2	0,73	0,45	0,45	2,8
0,175	5,1	3,1	0,8	0,5	0,14	0,09
0,2	5,2	3,2	0,9	0,56	0,9	0,56
0,3	7,2	4,4	0,39	0,24	1,6	1

Як бачимо з наведеної таблиці 1, шорсткість поверхні при використанні розробленої багаторізевої головки у 1,5 раза менша від значень при одноінструментальній обробці відповідних матеріалів заготовки.

На рис.13 також наведено зразки ескпериментальних круглограм оброблених деталей як при однорізевої обробці, так і при використанні трирізевої головки із пружними напрямними та електромагнітним приводом.

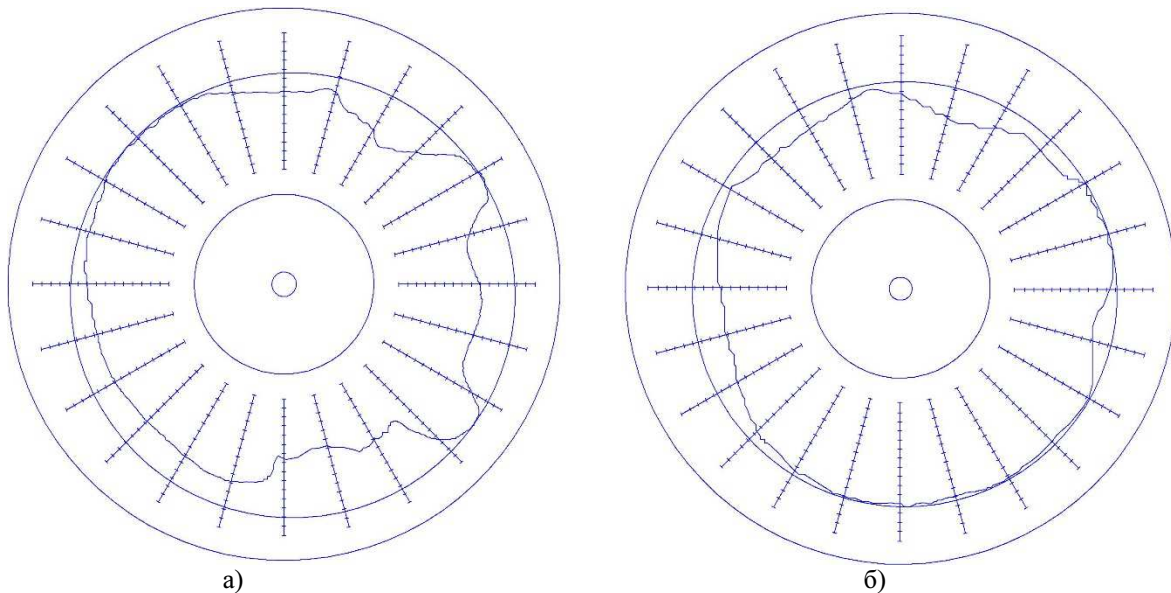
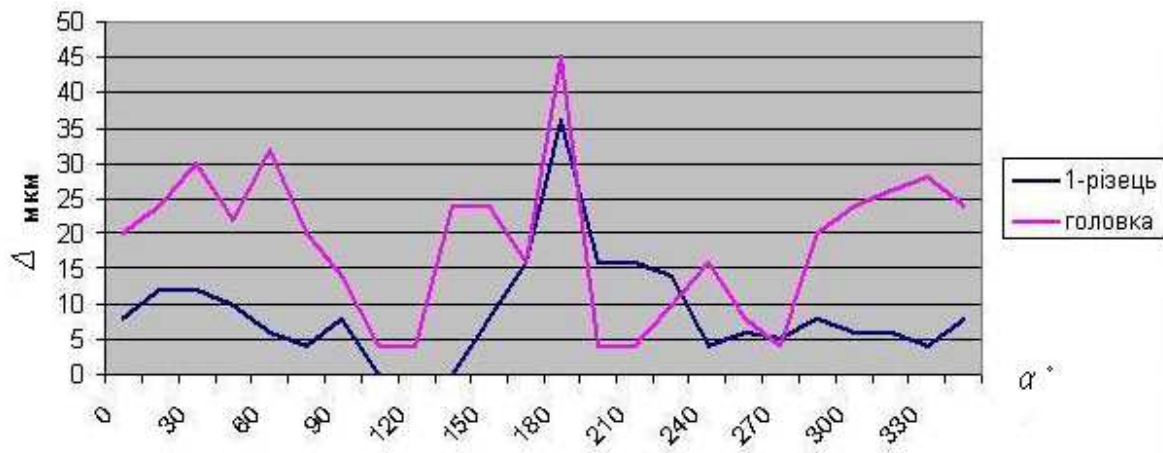


Рисунок 13. Круглограма (одна поділлка на радіусі – 2мкм) обробленої деталі: а) при однорізевої обробці дюралюміній Д16, б) при обробці трирізевою головкою адаптивного типу з пружними напрямними та електромагнітним приводом дюралюміній Д16

Figure 13. Machined detail circular plot (one scale point is equal to 2 mcm in radius):

a) of the single edge D16 duralumin machining, б) using adaptive type three head with elastic guides and electro magnetic drive in D16 duralumin machining



Рисун

ок 14. Графіки відхилень від круглості Δ , при однорізецевій обробці дюралюміній Д16 та при обробці трирізецевою голівкою дюралюміній Д16

Figure 14. Deviation from circular form graphs of the single edge D16 duralumin machining and using three head with elastic guides and electro magnetic drive in D16 duralumin machining

Аналіз даних круглограм (рис.14) та результатів вимірювань шорсткості обробки (табл.1) в цілому довели працездатність голівки та добру відповідність результатів теоретичних та експериментальних досліджень (похибка складає 10–30%). Зокрема, при консольному точінні заготовки із дюралюмінію марки Д16 діаметром 14 мм та довжиною 600 мм різцями із твердосплавними пластинами Т15К6 забезпечується 8-й квалітет точності та шорсткість $Ra=0,24-0,56$ мкм. Відхилення від геометричності форми знаходиться в діапазоні 10–15 мкм, що відповідає вимогам до тонкого точіння [10].

Висновки. Для вирівнювання осьових, а, отже, і радіальних складових сил різання при тонкому точінні запропоновано трирізецеву голівку з пружними напрямними з електромагнітами та системою для інтелектуального мікроконтролерного керування регулювання подач.

У результаті експерименту для дослідження на розробленому стенді доведено ефективність вирівнювання зусиль різання з допомогою розроблених голівок на основі алгоритмів керування, що передбачають стабілізацію як рівнодійної осьових складових сил, так і сумарних переміщень різальних елементів.

Експериментально доведено, що якість обробленої поверхні відповідає 8-у квалітету точності, а шорсткість становить $Ra=0,24-0,56$ мкм, що в 1,5 раза краще, ніж при однорізецевій обробці. Похибка геометричності форми знаходиться в межах 10–15 мкм, що відповідає необхідним вимогам.

Conclusions. The three edge head with elastic guides and electro magnetic drive and feed regulating intellectual micro controller system control is proposed to equalize the axial as well as the radial components of cutting forces.

As a result of research experiments performed on the developed testing set-up the efficiency of cutting forces equalizing is testified in the process of the developed cutting heads machining based on the control algorithms providing the resulting force stabilization and summarized tool elements displacements as well.

It is experimentally proved in that the machined surface quality responds to the 8 accuracy degree and the roughness is equal to $Ra=0,24-0,56$ мкм, that is, in 1,5 times better than in single edge machining. The geometric shape errors are of 10–15 mkm range that meets the necessary requirements.

Список використаної літератури

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения [Текст] / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Петраков, Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням [Текст] / Ю.В. Петраков. –К.: Вид-во УкрНДІАТ, 2004. – 383 с.
3. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія [Текст] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин. – Т.: Тернограф, 2011. – 692 с.
4. Луців, І.В. Структурний синтез багатолезового оснащення з кінематичними інструментальними зв'язками [Текст] / І.В. Луців // Вісник ТДТУ, 1997. – №1. – С.78–84.
5. Нагорняк, С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: справочник [Текст] / С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив. – К.:Техника,1992. – 72 с.
6. Пат. 82786 Україна, МПК В23В29/00. Пристрій для точіння [Текст] / І.В. Луців, П.Д. Кривий, Ю.Б. Підгайний, В.М. Шарик; заявник і патентовласник: Тернопільський державний технічний університет, Тернопіль; заявл. 25.01.2013; опубл.12.08.2013, Бюл. №15.
7. Пат. 85022 Україна, МПК В23В25/00. Пристрій для точіння [Текст] / І.В. Луців, П.Д. Кривий, В.М. Шарик; заявник і патентовласник: Тернопільський державний технічний університет, Тернопіль; заявл. 19.04.2013; опубл.11.11.2013, Бюл. №21.
8. Пат. 85871Україна, МПК В23В29/24. Багаторізева головка для точіння [Текст] / І.В. Луців, П.Д. Кривий, В.М. Шарик; заявник і патентовласник: Тернопільський державний технічний університет, Тернопіль; заявл. 29.03.2013; опубл.10.12.2013, Бюл. №23.
9. Колев, К.С. Вопросы точности при резании металлов [Текст] / К.С. Колев. – М.: Машгиз, 1961. – 131 с.
10. Косилова, А.Г. Справочник технолога машиностроителя в 2-х т.; под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перепаб. и доп. [Текст] / А.Г. Косилова. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

Отримано 02.02.2015