

УДК 621.881

Луців І.В., д.т.н, проф., Шарик В., Стрембіцький М.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ОБРОБКОЮ ПРИ ТОНКОМУ ТОЧІННІ БАГАТОРІЗЦЕВОЮ ГОЛОВКОЮ

Запропоновано алгоритм керування обробки багаторізцевою головкою адаптивного типу з пружними напрямними, та конструкцію багаторізцевої головки адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння. Керування положення різців в процесі обробки відбувається через електромагнітний двонаправлений привід різцетримачів з мікроконтролерним інтелектуальним 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 при тонкому точінні. Проведений аналіз дозволяє зробити висновки, що застосування багаторізцевої головки з механізмом вирівнювання зусиль різання, впливає на те, що жорсткість технологічної системи ВПД при різанні значно підвищується, а це дає можливість зменшити вплив складових сил різання на точність виготовлення деталі. Доведено ефективність вирівнювання зусиль різання з допомогою розробленої головки на основі алгоритмів керування, що передбачають стабілізацію як рівнодійної осьових складових сил, так і сумарних переміщень різальних елементів. Це дозволяє скоротити основний та допоміжний час і збільшити загальну продуктивність процесу, при забезпеченні необхідної якості оброблюваної поверхні.

Багатолезова обробка, мікропроцесорна система керування, прецизійна механіка, алгоритм керування.

Постановка проблеми. В зв'язку із вимогами до точності оброблюваних деталей підвищилась і точність верстатів, які випускаються. Але при цьому виникають протиріччя між характеристиками точності верстатів і дійсною точністю технологічного процесу обробки заготовок. Дослідження точності характеристик різних токарних верстатів, в тому числі і з числовим програмним керуванням (ЧПК), і аналіз досліджень параметрів точності деталей при обробці на цих верстатах показали, що на універсальних верстатах, якщо на них працюють спеціалісти високої кваліфікації, їхні можливості по забезпеченню точності виконуються на 40-70%. При обробці на верстатах з ЧПК використання їх по точності ще нижча, і не перевищує 14-20%. Тому в цілому світі ведуться пошуки для подолання цих протиріч. Один із цих шляхів – створення систем, що дозволяють здійснювати текучий контроль за процесом обробки деталі і вносити необхідну корекцію для забезпечення стабілізації розмірів оброблюваних деталей.

Аналіз досліджень і публікацій. Стабільність рівня налагодження і налаштування металообробного верстата визначає точність обробки на верстаті при виготовленні партії деталей. При обробці поверхонь обертання для підвищення її ефективності і забезпечення вимог до точності виготовлення деталей доцільно застосовувати автоматизоване верстатне оснащення і оснащення адаптивного типу [1]. При цьому необхідна автоматизована система автоматичного контролю, що забезпечує автоматичне відслідковування рівня налагодження і налаштування та корекції відхилень, які виникають в процесі обробки. Суть самоналагоджувального різання при цьому полягає в тому, що однаковим різальним лезам, 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 [2]. В загальній структурі технологічної системи різання таке верстатне оснащення носить визначальний характер [3].

Мета роботи. Метою роботи є розробка алгоритму керування процесом обробки поверхонь обертання, а саме точінням, що дозволить скоротити основний та допоміжний час і збільшити загальну продуктивність процесу, при забезпеченні необхідної якості оброблюваної поверхні.

Постановка задачі. З допомогою зміни подачі, як параметра керування можна організувати надзвичайно тонкий і чутливий механізм керування пружними переміщеннями. Зміна подачі, пов'язана зі зміщенням вздовж осі X (вздовж верстату), не впливає негативно на якість оброблюваної поверхні деталі. Так як вектор сили різання практично не змінює свого напрямку в просторі при коливаннях, то, керуючи осьовою складовою P_x сили різання шляхом зміни подачі за рахунок переміщення в осьовому напрямку, можна керувати силою різання в цілому, в тому числі її радіальною складовою P_y . Тому компенсувати пружні переміщення деталі в процесі токарної обробки можна надавши кожному із різців по одній ступені вільності в осьовому напрямку, і зв'язати їх між собою в цьому напрямку з допомогою вирівнювальних механізмів [4]. Вирівнюючі механізми виконані таким чином, щоб сили на вході і на виході були рівні між собою [2]. Для забезпечення ефективності тонкого точіння багаторізцевими головками адаптивного типу з відповідним керуванням положення різців в процесі обробки слід визначити характеристики подач і зусиль при такому регулюванні. Ці дані є основою алгоритмів поточного керування процесів різання при використанні цих головок. Від ефективності алгоритму суттєво залежать результати роботи системи, що в кінцевому результаті визначає якість та продуктивність технологічного процесу. Тому одним із основних напрямків подолання виникаючих проблем в машинобудуванні може бути створення контрольно-керуючих систем. При розробці таких систем важливе значення мають правильно вибрані схеми і засоби контролю оброблюваної деталі, ріжучого інструменту, а також методи обробки отриманої інформації корекції керуючих програм системи. Вирішення цієї задачі дозволить підтримати якість технологічного процесу і точність обробки деталей протягом заданого часу обробки.

Виклад основного матеріалу досліджень. У Тернопільському національному технічному університеті запропоновано багаторізцеву головку адаптивного типу з пружними напрямними для тонкого точіння. Розглянемо схему обробки деталі такою головкою з вирівнювальним механізмом. На рисунку 1 представлено схему обробки деталі трирізцевою головкою, що містить корпус 1, у якому розміщені різці 2. Як видно із схеми при обробці деталі 5 трьома різцями 2 заготовка фактично затискається між ними. Різці розміщені на пружних напрямних 3, а різцетримачі з'єднані з якорями електромагнітів 4. Між різцями встановлений електромагнітний механізм вирівнювання зусиль різання з системою керування СКМ. У цьому випадку $P_{x1}=P_{x2}=P_{x3}$, $P_{y1}=P_{y2}=P_{y3}$. Таким чином, зі сторони осьових зусиль не виникає згинного моменту, що діє на заготовку. Згинний момент виникає тільки в результаті похибки закріплення заготовки в патроні токарного верстату з ексцентриситетом та похибки встановлення різців відносно осі заготовки.

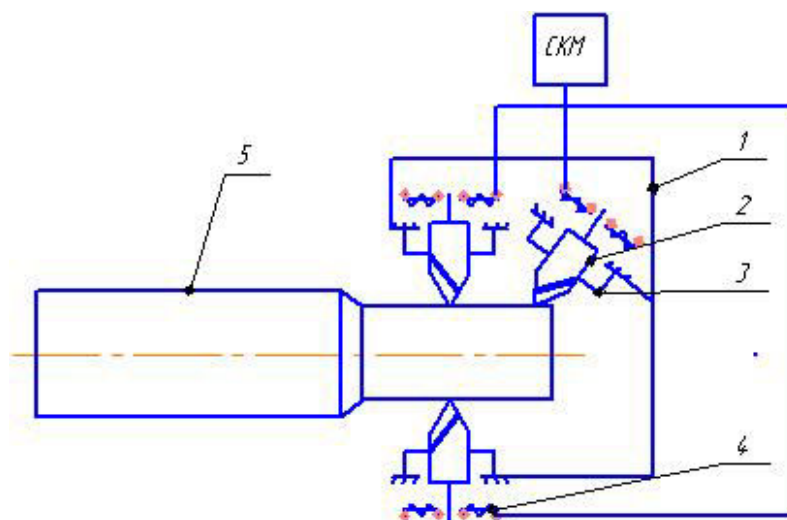


Рис. 1. Схема обробки циліндричної деталі трирізцевою головкою

Математичні моделі і алгоритми призначені для використання в автоматизованих системах керування для вирішення задачі автоматизованої підтримки точності технологічних процесів механічної обробки деталей. Для даної головки пропонується алгоритм обробки, що складається з трьох режимів керування положення різців. Програма функціонує наступним чином, після ініціалізації відбувається прийняття даних від ПК, залежно від прийнятого значення

вибирається режим роботи установки 1, 2 або 3. Якщо прийнята команда не відповідає жодному із перерахованих режимів роботи, то очікуємо на наступну посилку даних. Перший режим 1 – режим при якому на електромагніт, що керує різцем подається потужність, яка рівна 1/3 від переміщення даного різця. Алгоритм працює наступним чином: виконуємо вимірювання переміщення кожного із різців, далі фільтруємо отриманий результат. Визначаємо номер різця який відстає, таку процедуру виконуємо перебором виміряних 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 рівне різниці переміщення поточного значення різця від мінімального і розділене на три.

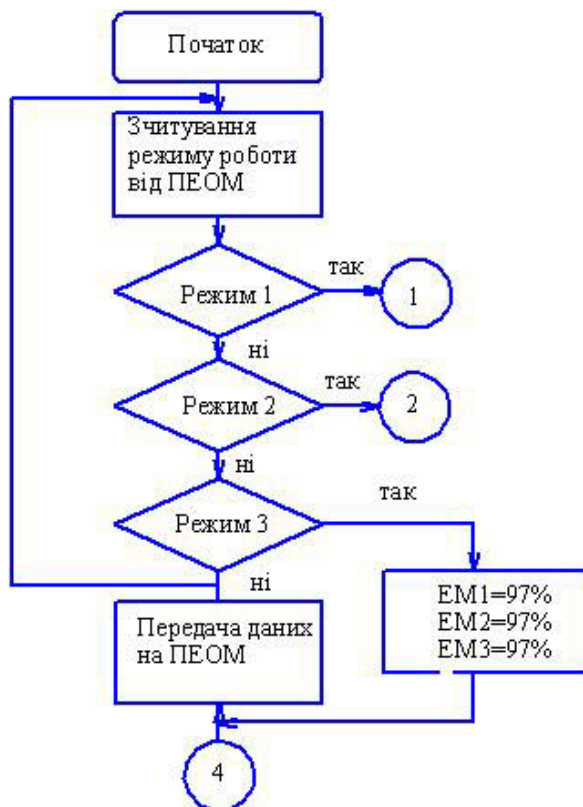


Рис. 2. Блок-схема керування багаторізцевими головками.

Другий режим 2 забезпечує утримання 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 попередньої потужності, що подавалася на електромагніт керування, отриманий результат подаємо в якості керування на електромагніт різця і зберігаємо його, як попереднє значення для наступної ітерації.

Третій режим 3 дозволяє відвести всі різці в одну сторону, для цього на кожен електромагніт керування різцями видається потужність керування, що рівна 97%.

На рисунку 3 представлено конструкцію багаторізцевої головки з пружними напрямними адаптивного типу [5], з електромагнітним мікроконтролерним керуванням. Головка складається з корпусу, у якому через 120° виконано три прямокутні наскрізні вікна, у кожному з яких розміщені три різцетримачі 9, які за допомогою пружних пластинчастих напрямних 4, клинів та гвинтів з'єднані із корпусом. У різцетримачах 9 встановлені виставлені на розмір різці 1, положення яких відносно поздовжньої осі корпусу зафіксовано гвинтами. Різцетримачі 9 з'єднані з якорями 3 електромагнітів 2. В свою чергу електромагніти нерухомо прикріплені до корпусу за допомогою фланця 7 та гвинтів 8. На якорях встановлені пружні елементи в вигляді пластин, які закріплені другим кінцем до штанг, що кріпляться до корпусу, причому пластини оснащені тензометричними давачами. Тензометричні давачі з'єднані з тензопідсилювачем, мікропроцесорною системою керування, та системою погодження та підсилення.

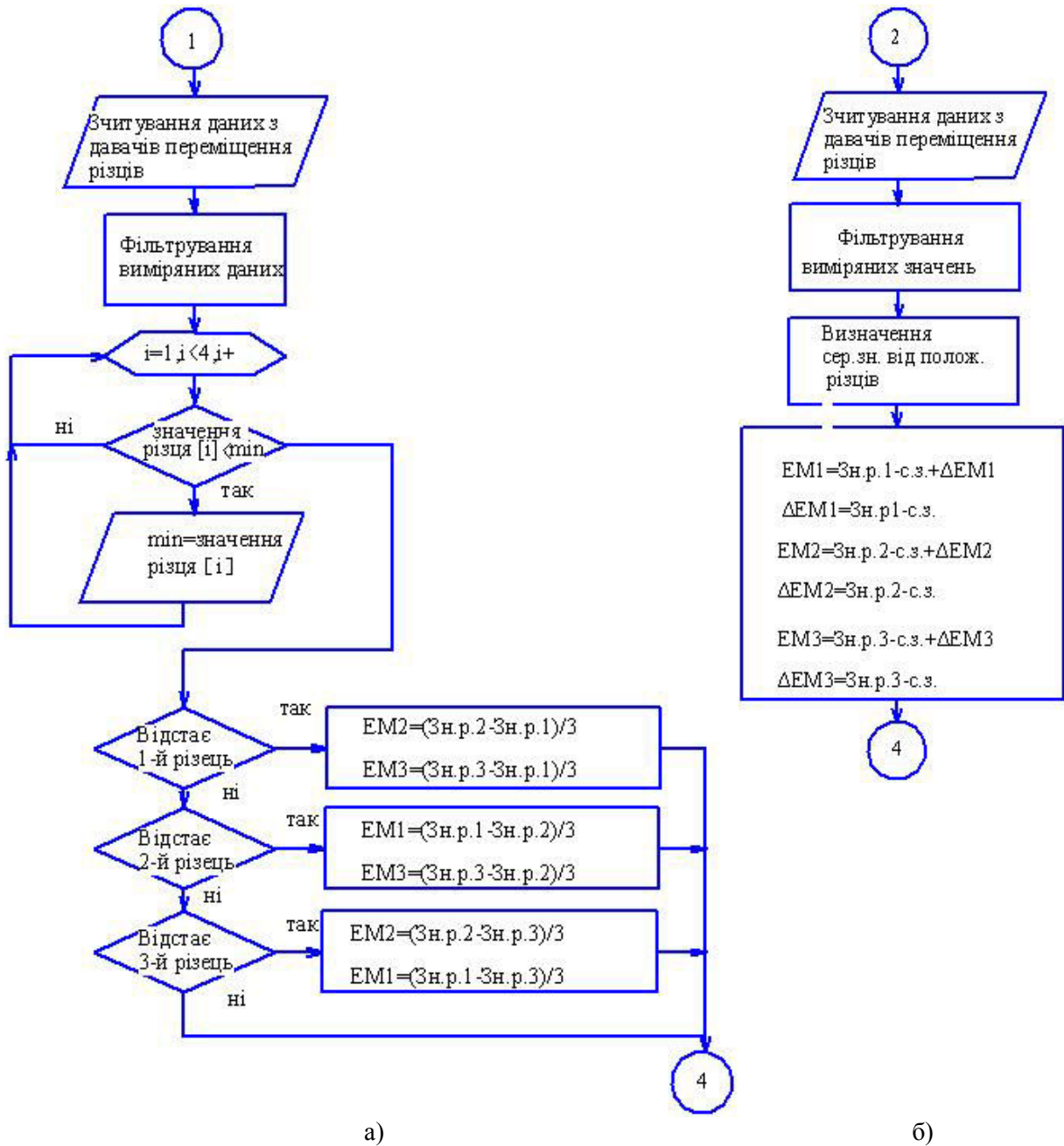


Рис. 2. Блок-схема керування: а) перший режим, б) другий режим.

Головка працює наступним чином. Спочатку її встановлюють в крайньому правому положенні, щоб вершини різців 4 знаходились 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 в радіальному напрямі від центра до периферії. 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 сила різання P_{x1} , яка більша від осьових складових на двох інших різцях, то при цьому порушується стан рівноваги, тобто відбувається переміщення різця зліва направо.

Це призводить до деформації пружної пластини і разом з нею і тензометричного давача сигнал, з якого у вигляді збільшення сили електричного струму подається на тензопідсилувач 5, а після цього підсилений сигнал поступає на мікропроцесорну систему керування, яка в свою чергу через систему погодження і підсилення 6 подає сигнал більшої сили струму на два інші

електромагніти примушуючи цим самим переміщати їх якори справа наліво та збільшуючи подачу на різцях. Це дозволяє 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 не допустити радіальної деформації вала під час обробки і забезпечити високу точність та низьку жорсткість обробленої поверхні.

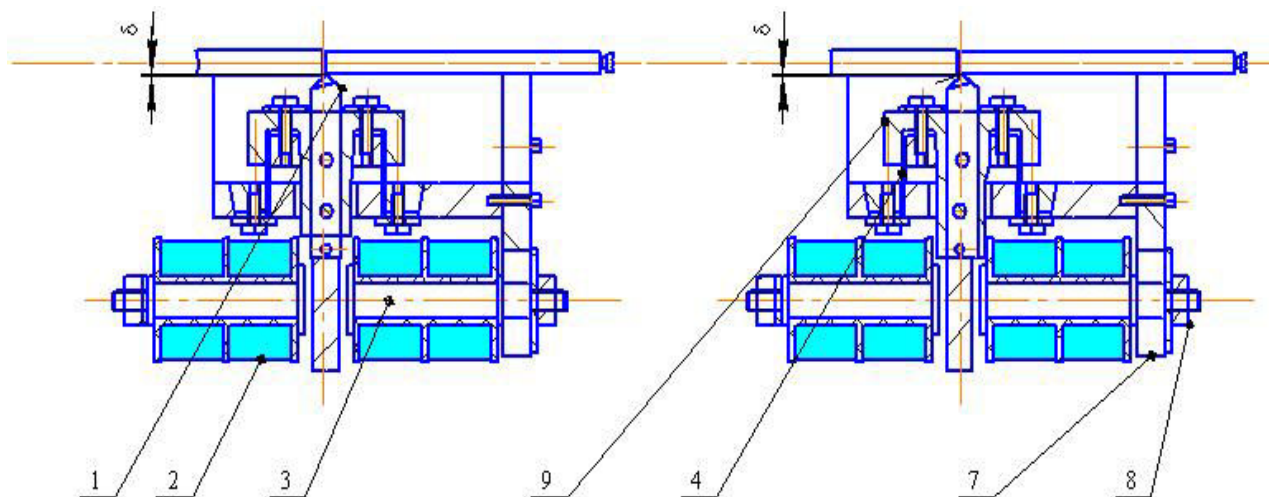


Рис. 3. Конструкція багаторізевої головки для тонкого точіння з пружними напрямними та електромагнітним приводом

Для доведення доцільності використання багаторізевої головки проведемо розрахунок прогину деталі при обробці одним різцем з використанням люнета та трирізевої головки. При огляді методу обробки одним різцем з люнетом і закріпленням в патроні і в центрі отримаємо величину прогину δ без врахування похибок закріплення заготовки і різця визначимо за формулою[6]:

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

де J_n – жорсткість люнета; J_{3b} – жорсткість задньої бабки.

При точінні і розміщенні люнета посередині деталі найбільший прогин буде в тому випадку, коли навантаження діє посередині прольоту.

$$\delta_{max} = 0.015P_{3z} \left[\frac{L^3 \mu}{EI} + \frac{1}{j_{cyn}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{J_n + 0.5J_l} + \frac{1}{J_{3b} + 0.5J_l} \right) \right] + \delta_n + \delta_p \quad (2)$$

Величину прогину при обробці багаторізевою головкою визначимо за формулою:

$$\delta_{max} = P_{3z}^* \left[\frac{L^3 \mu}{3EI} + \frac{1}{j_{cyn}^*} + \frac{1}{j_n} + \frac{1}{3j_p} \right] + \delta_n + \delta_{pmax}^* \quad (3)$$

де j_p - жорсткість різця.

За результатами розрахунків будемо графіки залежності прогину деталі від її довжини, графіки порівняння прогину з використанням люнета та трирізевої головки в діапазоні довжин 220-260мм, де δ_{max1} – максимальний прогин при обробці консольно закріпленої деталі одним різцем, δ_{max2} – максимальний прогин при обробці деталі закріпленої в патроні і в центрі одним різцем з люнетом, δ_{max3} – максимальний прогин при обробці деталі трирізевою головкою з механізмом вирівнювання зусиль різання.

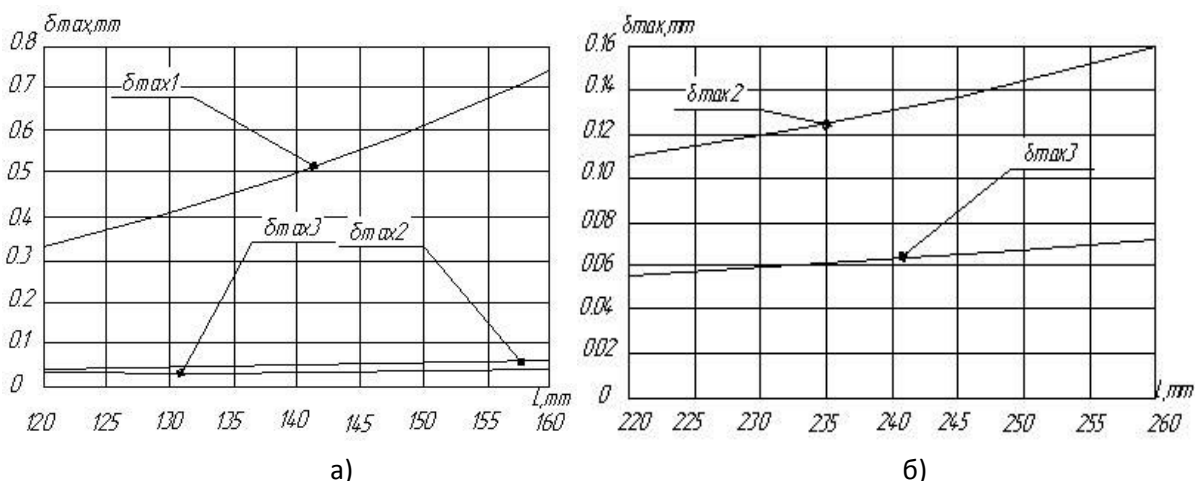


Рис. 4. Графіки залежності а) прогину деталі від її довжини, б) порівняння прогину з використанням люнета та трирізцевої головки в діапазоні довжин 220-260мм.

Висновки: Розроблено алгоритм керування подачами та зусиллями при тонкому точінні багаторізцевими головками адаптивного типу з пружними напрямними. Керування положення різця в процесі обробки відбувається через електромагнітний двонаправлений привід різцетри-мачів з мікроконтролерним інтелектуальним 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. Проведений аналіз дозволяє зробити висновки, що застосування трирізцевої головки з механізмом вирівнювання зусиль різання, впливає на те, що жорсткість технологічної системи ВПД при різанні значно підвищується, а це дає можливість зменшити вплив складових сил різання на точність виготовлення деталі. Доведено ефективність вирівнювання зусиль різання з допомогою розробленої головки на основі алгоритмів керування, що передбачають стабілізацію, як рівнодійної осьових складових сил, так і сумарних переміщень різальних елементів. Це дозволяє скоротити основний та допоміжний час і збільшити загальну продуктивність процесу, при забезпеченні необхідної якості оброблюваної поверхні.

1. Маталин, А.А. Технология машиностроения /А.А Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Петраков, Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням / Ю.В. Петраков. – Вид-во УкрНДІАТ, К.: 2004. – 383 с.
3. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія / 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 / І.В. Луців // Вісник ТДТУ-1997. – №1. – С. 78-84.
5. Луців І.В. Пат. 85022 Україна, МПК В23В25/00. Пристрій для точіння / 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. – 5с.:іл.
6. Колев, К. С. Вопросы точности при резании металлов / К. С. Колев. – М.: Машгиз, 1961. – 131 с.