

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ІВАНА ПУЛЮЯ

БИЦА РОМАН ОЛЕГОВИЧ

УДК 621.941-229.3

**ОБГРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТОКАРНИХ КУЛАЧКОВИХ
ПАТРОНІВ З АДАПТИВНИМИ ЗАТИСКНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

05.03.01 – процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2017

Дисертація на правах рукопису.

Робота виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: Заслужений працівник освіти України,
доктор технічних наук, професор
Луців Ігор Володимирович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,
завідувач кафедри конструювання верстатів,
інструментів та машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузнєцов Юрій Миколайович,
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор
кафедри конструювання верстатів та машин

кандидат технічних наук, доцент
Редько Ростислав Григорович,
Луцький національний технічний університет, декан
факультету комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Захист відбудеться « 3 » липня 2017 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, корп. 2, ауд. 58.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, корпус №2.

Автореферат розіслано «___» червня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Дячун А.Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У машинобудуванні верстати токарної групи становлять 30-40% від загального парку металорізальних верстатів. Підвищення технічного рівня сучасних токарних верстатів і автоматичних верстатних систем в умовах багатомасштабного виробництва, високошвидкісної і прецизійної обробки деталей вимагає покращення характеристик їх основних механізмів та вузлів, одними із яких є механізми затиску.

Встановлення деталі та її утримання в процесі обробки супроводжується комплексом фізичних явищ, серед яких: пружні відтискання в приводі затискного механізму (ЗМ) і системі патрон-деталь; пружні та пластичні деформації деталей та стиків і порушення фізичних зв'язків між ними; теплові та інші явища. Здатність ЗМ верстата виконувати робочі функції при змінах умов роботи істотно залежить від можливості їх пристосування до змінних факторів впливу.

При різних діаметрах затиску використовуються традиційні механізовані токарні патрони з комплектами затискних елементів (ЗЕ). При цьому одним із дуже важливих напрямків підвищення гнучкості ЗМ є адаптація ЗМ до поверхонь оброблюваних заготовок різних діаметрів. Затиск по циліндричній поверхні більшого чи меншого діаметру призводить до нерівномірного прилягання ЗЕ до поверхні затиску і виникнення в зоні контакту високих поверхневих тисків, що може призвести до пошкодження поверхні, по якій проводиться затиск. При затиску заготовки по чорнових базах це допустиме явище, проте при затиску по оброблених чистових базах на кінцевих операціях технологічного процесу це може призвести не тільки до пошкодження поверхні затиску, а і до зниження точності та жорсткості затиску. Тому розробка та дослідження ЗМ, що можуть адаптуватися до поверхонь затиску різної геометрії, є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з виконанням плану науково-дослідної роботи викладачів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України №516 від 18.04.2006р. «Державна програма розвитку машинобудування», за програмою наукових досліджень Міністерства освіти і науки України, а також з виконанням держбюджетної науково-дослідної теми «Енергоефективні технології обробки деталей з полімерних матеріалів для обладнання магістральних газопроводів» (01.01.2013р. - 31.12.2014р.) (номер державної реєстрації НДР: 0113U000252).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення гнучкості обладнання для токарної обробки, яке працює в умовах частого переналагодження, за рахунок створення нових конструкцій ЗЕ токарних кулачкових патронів з адаптацією до поверхні затиску та обґрунтування їх характеристик.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз відомих конструкцій адаптивних ЗЕ та існуючого стану їх досліджень.
2. Розробити нові принципові підходи до синтезу ЗЕ, які в процесі затиску адаптуються до поверхні затиску, що засновані на пружній деформації затискної частини.
3. Розробити методики аналізу умов затиску в зоні контакту між ЗЕ і поверхнею затиску, а також оцінки напружено-деформованого стану у цій зоні для розроблених адаптивних ЗЕ.
4. Виконати експериментальні дослідження та дослідити характеристики токарних кулачкових патронів з адаптивними ЗЕ в лабораторних і виробничих умовах.
5. Створити нові конструкції ЗЕ з адаптацією до поверхні затиску та розробити практичні рекомендації щодо їх проектуванню та раціонального використання.

Об'єкт дослідження – процеси, що виникають при затиску деталей в токарних кулачкових патронах.

Предмет дослідження – адаптивні ЗЕ для оснащення токарних кулачкових патронів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на основі фундаментальних засад конструювання верстатів та машин, опору матеріалів, моделювання твердотільних конструкцій на основі теорії пружності з використанням методу скінчених елементів, математичного моделювання. Розробка нових конструкцій адаптивних ЗЕ здійснювалася на базі методів структурно-схемного синтезу. Експериментальні дослідження проводилися на основі сучасного стандартного та спеціально створеного оснащення. Оброблення результатів виконувалося з використанням методів математичної статистики та багатофакторного планування експериментів за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів.

Основний науковий результат полягає в теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні ефективності використання адаптивних ЗЕ в системі патрон-деталь токарного верстата, а саме:

1. Вперше сформульовано, теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено новий принцип створення адаптивних ЗЕ (ЗЕ із автоматичним набуттям форми в процесі затиску), який полягає у навмисному введенні в їх конструкцію зон деформації, що дозволяє забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовки різних діаметрів.
2. Вперше на основі комплексного функціонального підходу до аналізу взаємозв'язку між конструктивними елементами та конструктивними параметрами ЗЕ для оснащення токарних патронів запропоновано використання конструктивно-функціонального синтезу для створення нових затискних пристроїв з адаптацією ЗЕ до поверхні затиску.
3. З допомогою обґрунтованих і розроблених теоретичних та комп'ютерних моделей напружено-деформованого стану зони деформації ЗЕ,

який адаптується до поверхні затиску, встановлені межі їх працездатного стану, що дозволяє вибрати раціональні конструктивні параметри для забезпечення надійного затиску за наперед заданими експлуатаційними характеристиками.

4. Вперше теоретично обґрунтовано та експериментально доведено підвищення якісних показників оброблених заготовок при використанні ЗЕ адаптивного типу.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропонована методика створення ЗЕ, які адаптуються до геометрії оброблюваної заготовки. Вона може бути використана для розроблення ЗЕ, що адаптуються до інших факторів (наприклад, зміни розподілу зусилля затиску по довжині поверхні затиску ЗЕ і т.д.)

2. Запропонована конструкція адаптивних ЗЕ, яка захищена патентом України на корисну модель, дозволяє розширити діапазон діаметрів затиску оброблюваних деталей одним комплектом ЗЕ, відповідно до сучасних вимог щодо швидкості переналагодження та якості оброблюваної деталі.

3. Вироблено практичні рекомендації щодо врахування впливу різних факторів на якість поверхні при обробці на верстатах токарної групи з використанням ЗЕ адаптивного типу.

4. Результати дисертаційного дослідження передано для впровадження у ТОВ «Люїзо» (м. Тернопіль) для обробки валів, якими оснащуються машини для порізки сталі та ТОВ «Агросем» (м.Тернопіль), для обробки валів навіски сільськогосподарської техніки. Вони також використовуються в навчальному процесі на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин ТНТУ ім. І.Пулюя.

Особистий внесок здобувача.

Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи автор отримав особисто. Роботи [5, 7] є одноосібними. Постановка мети, завдань досліджень, розробка методології та підходів до їх вирішення, а також аналіз результатів отримані разом з керівником та к.т.н., доц. Волошином В.Н. Особистий внесок дисертанта у роботах, виконаних у співавторстві, полягає у створенні скінченно-елементної моделі адаптивного ЗЕ та опрацювання даних, отриманих за допомогою ЕОМ [1,2,3,6,9,10,12,14,17], розробці методики експериментальних досліджень параметрів затиску заготовки в адаптивних ЗЕ [4,14,15,16,18], розробці конструкції адаптивного ЗЕ [6], синтезі нових конструкцій адаптивних ЗЕ [11,13,19], оцінці умов затиску в зоні контакту між запропонованими ЗЕ та поверхнею затиску [6,7,8].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи були викладені на 12 наукових конференціях, 2 з яких закордонні: міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2012), II всеукраїнська науково-технічна конференція «Прогресивні технології в машинобудуванні» (Львів, 2014), XVIII наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 2014), III міжнародна науково-технічна конференція

молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2014), міжнародна науково-технічна конференція «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвячена 55-річчю заснування ТНТУ та 170- річчю з дня народження Івана Пулюя (Тернопіль, 2015), V міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (Чернігів, 2015), XIII міжнародна науково-технічна конференція «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (Краматорськ, 2015), IX international conference for young researchers. Technical Sciences. Industrial Management (Bulgaria, 2015), II международная научно-практическая конференция «Новые технологии наукоемкого машиностроения: приоритеты развития и подготовка кадров» (Набережные Челны, 2015), XIX наукова конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (Тернопіль, 2016), міжнародна науково-технічна конференція студентів і молодих вчених «Молода наука. Технологія машинобудування» (Краматорськ, 2016), II міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу» (Херсон, 2016), VI міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивні технології в машинобудуванні» (Львів, 2017), VII міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (Чернігів, 2017).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження відображені у 19 наукових працях (2 одноосібні), в тому числі у 6-ти наукових статтях, 3 з яких - у фахових виданнях, 2 - в іноземних, 12 - у тезах в збірниках матеріалів конференцій, та 1-му патенті України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 164 сторінках, складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 118 назв, містить 82 рисунки, 8 таблиць, а також додатки на 27 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність теми дисертаційної роботи, сформовано мету та завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

В **першому розділі** проведено літературно-патентні дослідження, на основі яких визначено основні тенденції та напрямки токарної обробки, сформовано сучасні вимоги до ЗМ токарних верстатів, поданий аналіз ЗЕ для базування та закріплення заготовок, а також здійснено аналіз відомих конструкцій затискних пристроїв з адаптацією ЗЕ до поверхні затиску та умов обробки. Відзначено, що значний внесок у розробку та дослідження ЗЕ адаптивного типу здійснили Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Волошин В.Н., Кушик В.Г., Редько Р.Г., Ахрамович В.М., Литвин О.В. (Україна), Bahrke U., Spur G., Stelzer C. (Німеччина), Ібрагім Фархан Салман Аль Рефо та ін.

На основі здійсненого аналізу визначено, що для забезпечення адаптації поверхні затиску ЗЕ до заготовок різних діаметрів використовуються різні

принципи: механічні (повне та неповне розчленування; висувні штирі; пластини; гнучкі сегменти та ін.); теплові (швидкоплавкі матеріали та легкоплавкі метали), магнітні (магнітні порошки, магнітореологічні рідини); гідравлічні (рідкі та сипучі середовища (гранули)).

На основі аналізу і узагальнення результатів попередніх досліджень провідних вчених у галузі машинобудування та матеріалобробки, а також розробки провідних компаній-виробників ЗМ, можна стверджувати про перспективність використання при токарній обробці і необхідність поглибленого дослідження адаптивних ЗМ, які дозволяють знизити час на переналагодження при зміні типорозміру оброблюваної деталі на верстаті та забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовок різних діаметрів.

В **другому розділі** розроблені і теоретично обґрунтовані основні принципи і схемні рішення адаптації ЗЕ до поверхні затиску.

Проведений аналіз поверхонь базування і затиску заготовки при токарній обробці показав, що найпоширенішими поверхнями для базування і затиску заготовки є поверхні обертання, тобто поверхні отримані при обертанні твірної навколо осі. Найчастіше базування та затиск проходить по поверхнях, отриманих при обертанні прямолінійних твірних навколо осі, якими є циліндричні та конічні поверхні.

На основі взаємодії ЗЕ із «жорсткою» геометрією поперечного перерізу в діапазоні ΔD із заготовкою встановлено наступні варіанти його контактування: неповний контакт; повний контакт та кромковий контакт. Встановлено, що при відсутності кутового зазору між ЗЕ і заготовкою, утворюються лінійні і поверхневі контакти, а відповідно і менші радіальні тиски. Поява незначних кутових зазорів в поперечному перерізі призводить до різкого зменшення площі контакту і відповідно збільшення контактних зближень менш відчутне.

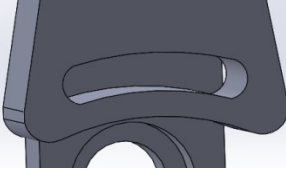
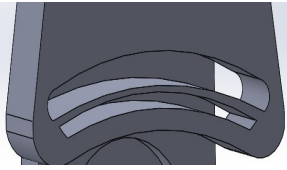
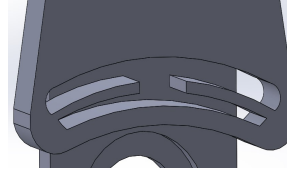
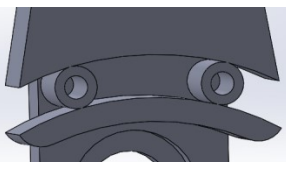
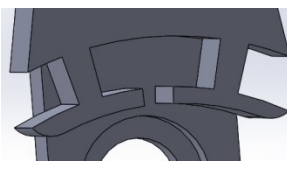
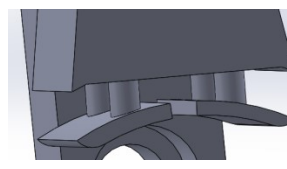
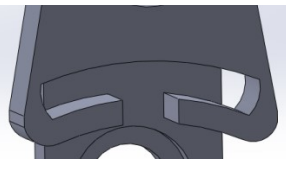
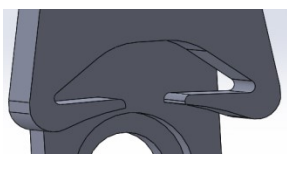
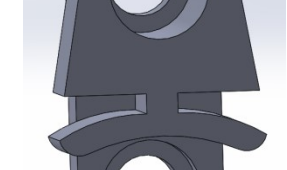
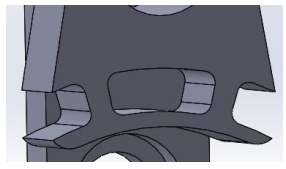
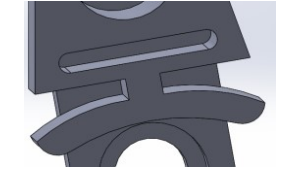
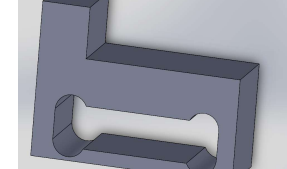
Запропонована систематизація ЗЕ з адаптацією поверхні затиску різних діаметрів за наступними ознаками: 1) ЗЕ із поверхнями затиску постійної форми (із «жорсткою геометрією») – тобто форма затискної поверхні обробляється, або виготовляється під поверхню затиску; 2) ЗЕ із поверхнями затиску змінної форми, які автоматично пристосовуються до поверхонь заготовок із різними діаметрами затиску за допомогою гнучкої поверхні ЗЕ незалежно від змикання (розмикання).

Одним із принципових підходів створення адаптивних ЗЕ (ЗЕ із автоматичним набуттям форми в процесі затиску), який пропонується, є навмисне введення в їх конструкцію зон деформації, що дозволяє забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовки. Такі зони можуть бути створені з використанням евристичних прийомів повного та неповного розчленування ЗЕ, створення пустот в ЗЕ, або їх комбінації, використання здатних до деформування кільцевих сегментів та ін. Повне та неповне розчленування ЗЕ та створення у ньому пустот можливе в різних площинах. Це дозволяє згенерувати нові структури ЗЕ, які забезпечують різного роду основні і допоміжні функції затиску.

Методика повного та неповного розчленування та введення пустот дозволяють ввести в конструкцію ЗЕ зони деформації, що відповідно допомагають забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовки. Матриця зон деформації ЗЕ, за допомогою яких затискна поверхня ЗЕ набуває форму поверхні затиску заготовки, служить основою для генерації адаптивних ЗЕ (табл. 1.).

Таблиця 1

Матриця для генерування зон деформації адаптивного ЗЕ

Метод	Варіанти зони деформації (альтернативи)			
Створення пустот у ЗЕ	1.1	1.2	1.3	...
				...
Повне розчленування ЗЕ	2.1	2.2	2.3	...
				...
Неповне розчленування	3.1	3.2	3.3	...
				...
Створення пустот та неповне розчленування ЗЕ	4.1	4.2	4.3	...
				...

Побудову морфологічної таблиці, призначеної для синтезу раціональних варіантів адаптивних затискних пристроїв (ЗП), здійснено на основі конструктивно-функціонального аналізу. Процес затиску заготовок різних діаметрів в певному діапазоні із заданим зусиллям затиску є основною функцією гнучкої системи затиску. Основними елементами ЗП, які забезпечують цю функцію є такі підсистеми: система безпосереднього впливу, яка виконується у вигляді основного і допоміжного ЗЕ; кінематична система, яка включає в себе передавально-підсилювальні ланки; кінематична система, яка включає в себе механізми маніпулювання ЗЕ. Функції, що виконуються елементами першого ієрархічного рівня, які забезпечують виконання основного призначення: встановлення заготовки; адаптація поверхні затиску ЗЕ до поверхні заготовок в певному діапазоні діаметрів затиску; затиск заготовки із відповідним зусиллям; передавання і мультиплікація зусилля затиску від

приводу на систему безпосереднього впливу; маніпулювання адаптивними поверхнями затиску ЗЕ для затиску заготовок в іншому діапазоні діаметрів.

Результати конструктивно-функціонального аналізу зведені в табл. 2. При описі відповідної функції елементів використана трикомпонентна структура її формалізованого уявлення:

$$F = (D, G, H), \quad (1)$$

де F – функція, виконувана системою; D – вказування дії, що здійснюється системою; G – вказування об'єкта, на який спрямована дія; H – особливі умови та обмеження, при яких виконується дія (якщо такі є).

Таблиця 2

Конструктивно-функціональний аналіз адаптивних ЗП

Елемент (E_i) системи адаптивного затиску	Функція елемента (F_i)	Узагальнена функціональна підсистема ($УФПС_i$)
E_1 – основний ЗЕ	$F_1 = (D$ – фіксація та передача зусилля затиску і переміщення; G – адаптивний ЗЕ; H – радіальний напрямок передачі зусилля затиску)	$УФПС_1$ – спосіб з'єднання основного ЗЕ з адаптивним
E_2 – адаптивний ЗЕ	$F_2 = (D$ – базування, адаптація ЗЕ до геометрії, затиск; G – заготовка, яка затискається; H – діапазон діаметрів, що затискаються)	$УФПС_2$ – зони деформації адаптивного ЗЕ
E_3 – передавально-підсилювальна ланка	$F_3 = (D$ – передавання і мультиплікація зусилля затиску; G – основний ЗЕ; H – величина ходу труби затиску)	$УФПС_3$ – структура передавально-підсилювальної ланки
E_4 – механізм маніпулювання адаптивним ЗЕ	$F_4 = (D$ – маніпулювання; G – адаптивні ЗЕ)	$УФПС_4$ – спосіб маніпулювання адаптивним ЗЕ

На підставі проведеного аналізу сформовані рядки морфологічної таблиці, в які записані сформульовані на підставі функціональних елементів так звані узагальнені функціональні підсистеми (УФПС). Найменуваннями стовпців морфологічної таблиці є альтернативи – тобто конструктивні варіанти виконання функцій.

Структурний синтез адаптивних ЗП здійснено шляхом побудови переліку всіх логічно можливих кортежів наступного виду:

$$\langle УФПС_{1j}, УФПС_{2j}, УФПС_{3j}, УФПС_{4j} \rangle. \quad (2)$$

Множина можливих варіантів N структурних рішень адаптивних ЗП генерується шляхом переліку всіх логічно можливих четвірок виду $\langle УФПС_{1j}, УФПС_{2j}, УФПС_{3j}, УФПС_{4j} \rangle$, тобто знаходиться як прямий добуток множин:

$$N = УФПС_1 \times УПФС_2 \times УФПС_3 \times УФПС_4 = \{ < УФПС_1, УПФС_2, УФПС_3, УФПС_4 | \\ УФПС_1 \in \{1.1; 1.2; 1.3; \dots\}, УФПС_2 \in \{2.1; 2.2; 2.3; \dots\} \\ УФПС_3 \in \{3.1; 3.2; 3.3; \dots\}, УФПС_4 \in \{4.1; 4.2; 4.3; \dots\} \} \quad (3)$$

Загальна кількість сумісних і несумісних варіантів і їх якісний зміст залежить від потужностей множин, і визначається за залежністю:

$$m = |УФПС_1| \cdot |УФПС_2| \cdot |УФПС_3| \cdot |УФПС_4|, \quad (4)$$

де $|УФПС_1|, |УФПС_2|, |УФПС_3|, |УФПС_4|$ – потужності множин $УФПС_1, УФПС_2, УФПС_3, УФПС_4$.

Для виключення несумісних варіантів використано детермінований пошук з побудовою матриць сумісності. Після виконання таких процедур отримано множину структурних рішень адаптивних ЗП.

В **третьому розділі** приведена методика теоретичних досліджень деформацій кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ засобами твердотільного моделювання, енергетичним методом дослідження деформацій Максвелла-Мора, а також методика проведення експериментальних досліджень.

У зв'язку з складною геометрією синтезованих адаптивних ЗЕ для аналітичного дослідження умов їх контактування із заготовкою, а також для розв'язання задач пов'язаних із кількісною оцінкою напружено-деформованого стану зони адаптації було обрано метод скінченно-елементного аналізу. Основними етапами запропонованої методики розрахунку напружено-деформованого стану в зоні затиску адаптивного ЗЕ засобами твердотільного моделювання є: 1) розробка геометрії адаптивного ЗЕ та заготовки; 2) побудова скінченно-елементної моделі; 3) вибір та накладання граничних умов, в тому числі тих, що моделюють зону контакту, та формування системи навантажень; 4) перевірка коректності розробленої скінченно-елементної моделі; 5) розрахунок напружено-деформованого стану; 6) визначення напружень та зміщення базових точок на поверхнях затиску адаптивних ЗЕ.

Вихідними даними для розрахунку є геометрична форма запропонованих адаптивних ЗЕ, сили затиску і умови закріплення, а також їх розташування. Результатами розрахунку є напруження та деформації у зоні контактування адаптивного ЗЕ із заготовкою. Для розрахунку використовувався в якості базового програмного інструмента пакет твердотільного моделювання з інтегрованою системою аналізу і розрахунку фізичних процесів із синхронною технологією (CAD/CAE-система).

В даній методиці використано скінченно-елементні моделі з об'ємних скінченних елементів та запропоновано способи врахування в розрахунковій схемі різних граничних умов і навантажень, характерних для розробленої конструкції адаптивних ЗЕ токарного патрона. З метою дослідження впливу сили затиску на деформації кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ до поверхні заготовки прикладалося навантаження у вигляді статичної граничної умови типу «нормальна сила». Величина сили затиску на один ЗЕ змінювалася в межах від 500 Н до 5000 Н, що відповідає реальним умовам

роботи ЗП при напівчистовій і чистовій токарній обробці. Методика також передбачає імітацію затиску заготовок в діапазоні $\Delta D=10$ мм, який визначається конструктивними параметрами даного типорозміру ЗП.

Методика теоретичних досліджень напружено-деформованого стану кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ енергетичним методом Максвелла-Мора базується на тому, що кільцевий сегмент адаптивного ЗЕ можна при певних допущеннях рахувати безшарнірною аркою (рис.1,а), що являє собою защемлений з двох кінців криволінійний стержень.

Для визначення невідомих реакцій безшарнірної арки, що моделює кільцевий сегмент адаптивного ЗЕ використано метод сил. Основна система утворюється відкиданням трьох зв'язків на осі арки, тобто фактично розсічення арки по осі. Вплив відкинутих зв'язків замінюється відповідними зайвими невідомими X_1, X_2, X_3 (рис.1,б).

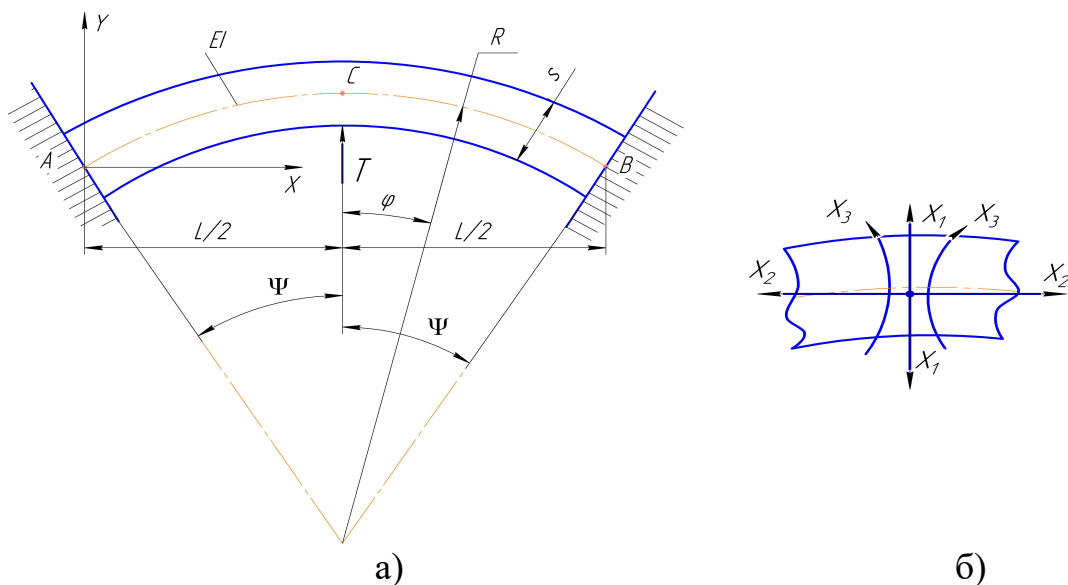


Рис. 1. Розрахункова схема кільцевого сегмента адаптивного ЗЕ у вигляді безшарнірної арки (а) та заміна відкинутих зв'язків відповідними зайвими невідомими X_1, X_2, X_3 (б)

Система з трьох рівнянь методу сил буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \delta_{2p} = 0, \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \delta_{3p} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

де X_1, X_2, X_3 – невідомі при відкиданні зв'язків; $\delta_{11}, \delta_{12}, \dots, \delta_{33}$ – коефіцієнти впливу податливості від дії одиничних навантажень; $\delta_{1p}, \delta_{2p}, \delta_{3p}$ – коефіцієнти впливу податливості від дії зовнішнього навантаження.

Для визначення коефіцієнтів системи розв'язуючих рівнянь методу сил використано формулу Максвелла-Мора.

Після визначення невідомих X_1, X_2 і X_3 , знаходяться остаточні значення згинального моменту в перетинах арки.

$$M_{3\Gamma} = M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 + M_p = R \sin \varphi X_1 + R(1 - \cos \varphi)X_2 + X_3 + M_p, \quad (6)$$

де R - радіус кривизни осі арки; M_1, M_2, M_3 – вирази для згинних моментів в допоміжних станах арки при дії X_1, X_2, X_3 ; M_p – вираз згинного моменту від дії зовнішнього навантаження; φ – кут, який утворюється дотичною до осі арки з горизонталлю, та змінюється в межах від $-\psi$ до $+\psi$.

В подальшому проводиться визначення переміщення в перерізі дії сили затиску за допомогою формули Максвелла-Мора.

Приведена методика проведення експериментальних досліджень залежності переміщень найбільш деформованої частини кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ в діапазоні його діаметрів затиску та в робочому діапазоні зусиль затиску. Розроблена також методика експериментального дослідження радіального биття та радіальних відтискань оправок, затиснутих у адаптивних ЗЕ та ЗЕ із жорсткою геометрією, при різних зусиллях затиску.

Для проведення експериментальних досліджень розроблений експериментальний стенд на базі токарно-гвинторізного верстата мод.1К62, який включає навантажувальні та вимірювальні пристрої.

Для дослідження оцінки впливу параметрів обробки на формування динамічної похибки використаний рототабельний центрально-композиційний план експерименту, який дозволяє кількісно оцінити ефекти факторів, їх взаємодії, прийняти оптимальні рішення та зменшити кількість проведення дослідів в порівнянні з однофакторним експериментом. При визначенні числа факторів враховувалась апріорна інформація, аналіз якої показав, що основними факторами є: подача інструменту на один оберт (x_1); частота обертання шпинделя (x_2); глибина різання (x_3); діаметр затиску оброблюваної заготовки (x_4).

В якості моделі для апроксимації результатів експерименту був прийнятий поліном другого порядку.

$$\Delta R = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \bar{x}_i + \sum_{i,l=1}^n b_{il} \bar{x}_i \bar{x}_l + \sum_{i=1}^n b_{ii} \bar{x}_i^2, \quad (7)$$

де ΔR – вихідний параметр (відхилення від круглості); $\bar{x}_i, \bar{x}_l$ – керовані фактори, що впливають на відгук системи; b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії.

В **четвертому розділі** приведено результати теоретичних та експериментальних досліджень ЗП із адаптивними ЗЕ.

Результатами моделювання методом скінченно-елементного аналізу зони адаптації ЗЕ для різних діаметрів затиску, навантаженого силою затиску, є еквівалентні напруження, значення яких розраховувалися за гіпотезою енергії зміни форми Ріхарда Фон Мізеса та деформації.

Аналіз картин розподілу напружень по об'єму зони адаптації ЗЕ показує, що найбільші напруження виникають в центральній та крайніх зонах ЗЕ, де сполучається кільцева затискна частина із тілом ЗЕ. Максимальні еквівалентні напруження в зоні адаптації затискного кулачка, отримані в результаті комп'ютерного моделювання при різних зусиллях затиску та діаметрах затиску, приведені на рис. 2.

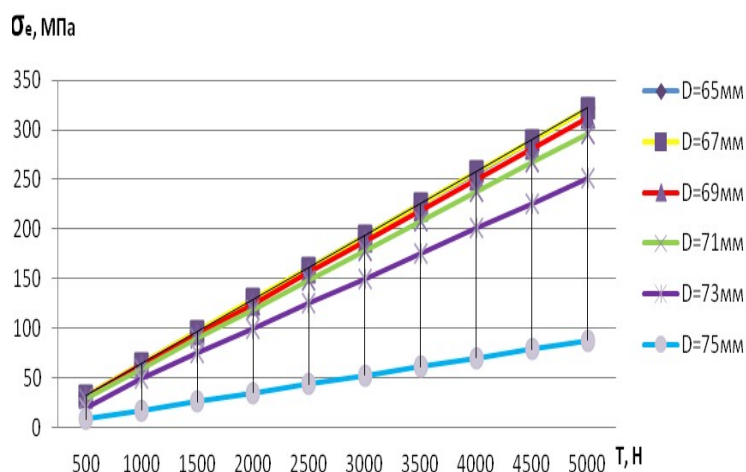


Рис. 2. Графіки залежності максимальних еквівалентних напружень σ_e в зоні адаптації затискного кулачка від зусилля затиску T та діаметра затиску D

Результати імітаційного моделювання показують, що із збільшенням зусилля затиску, яке припадає на один ЗЕ від мінімального до максимального, максимальні еквівалентні напруження також збільшуються, тобто спостерігається прямопропорційна лінійна залежність між навантаженнями та максимальними еквівалентними напруженнями. При цьому більші напруження характерні для менших діаметрів затиску. Це пов'язано із меншою зоною контактування заготовок малих діаметрів та їх умовами контактування, які викликані

більшою радіальною деформацією затискної частини адаптивного ЗЕ. Із збільшенням діаметра затиску від 65 до 73 мм σ_e при максимальній силі затиску ЗЕ зменшуються у 1,28 раз. Це пояснюється збільшенням зони контакту при затиску заготовок більшого діаметру. При повному контакті заготовки із затискною частиною ЗЕ ($D=75$ мм) напруження в зоні контакту набагато менші. Аналіз результатів моделювання показав, що затискна частина адаптивного ЗЕ при навантаженнях силою затиску в діапазоні 500...5000 Н працює в зоні пружних деформацій і забезпечує її повний контакт із заготовкою в заданому діапазоні діаметрів.

Також проведено дослідження напружено-деформованого стану адаптивного ЗЕ залежно від товщини стінки кільцевого сегменту зони затиску. Картини напруженого стану при різних товщинах стінки кільцевого сегменту приведені на рис. 3.

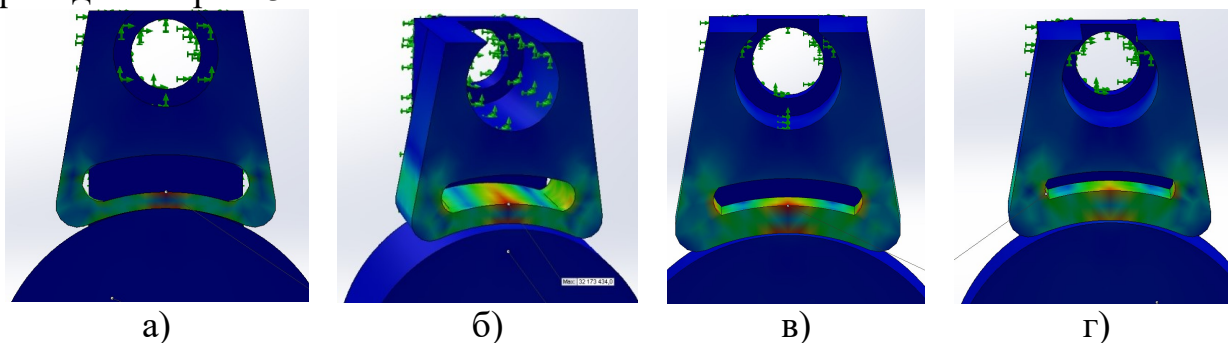


Рис. 3. Картини напруженого стану адаптивного ЗЕ, отримані при товщині стінки кільцевого сегменту 3 мм (а), 4 мм (б), 5 мм (в) та 6 мм (г)

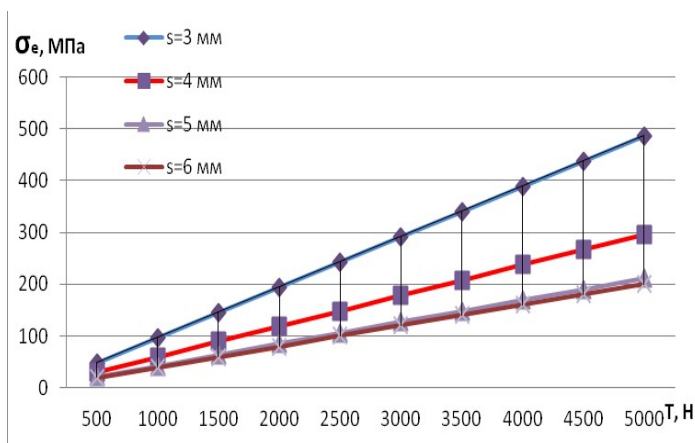


Рис. 4. Графіки залежності напруження в зоні деформації адаптивного ЗЕ від зусилля затиску при різній товщині стінки та діаметрі затиску 71 мм

З рис. 4 видно, що при збільшенні товщини кільцевого сегменту зменшується величина напруження, проте також зменшується і величина деформації, що прямо впливає на здатність ЗЕ адаптуватися до поверхні затиску. Дослідження показали, що раціональною є товщина кільцевого сегменту, яка знаходиться в межах 3,5...4,5 мм. При такій товщині досягаються максимальні деформації і при цьому сегмент працює в зоні

пружних деформацій. При меншій товщині кільцевого сегменту коефіцієнт запасу міцності стає меншим одиниці, і відповідно кільцевий сегмент адаптивного ЗЕ руйнується.

Для порівняння напружено-деформованого стану адаптивного ЗЕ та ЗЕ із жорсткою геометрією ЗЕ обох типів в середовищі CAD/CAE-системи було створено їх скінченно-елементні моделі. ЗЕ із жорсткою геометрією мав розточку під діаметр 75 мм. Результати моделювання показали, що при затиску заготовок з діаметрами, які не відповідають діаметру розточки, в ЗЕ із жорсткою геометрією напруження досягають досить високих значень (рис. 5, а, б). Зниження напруження спостерігається лише при умові затиску заготовки, діаметр якої співпадає з діаметром розточки, що свідчить про неповний контакт поверхонь затиску ЗЕ та заготовок, діаметр яких менший або більший від номінального діаметру розточки.

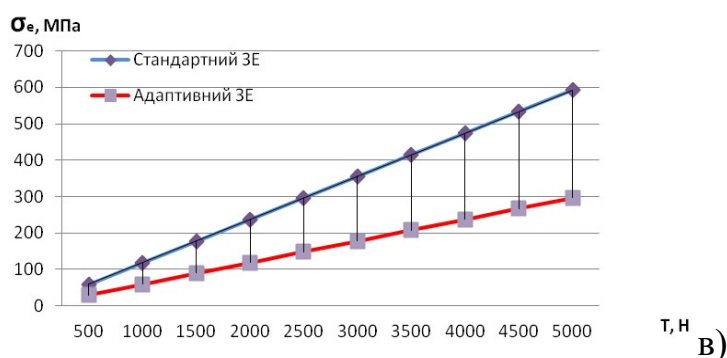
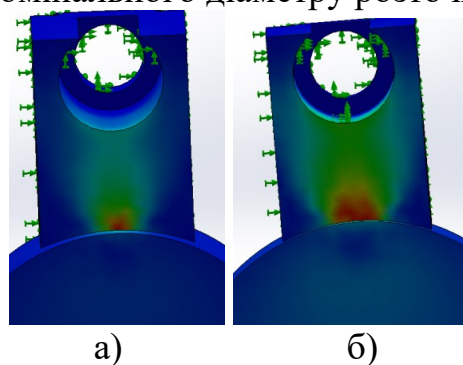


Рис. 5. Картина напруженого стану ЗЕ із жорсткою геометрією для діаметрів затиску 67 мм (а), 73 мм (б) та графічні залежності максимальних напружень, які виникають в зоні затиску заготовки діаметром 71 мм при різних зусиллях затиску (в)

З рис. 5, в видно, що максимальні напруження в зоні затиску для діаметрів заготовок, які відмінні від діаметру розточки при використанні ЗЕ із жорсткою геометрією приблизно в 3 рази вищі, ніж при використанні ЗЕ адаптивного типу. При затиску деталі, діаметр якої дорівнює діаметру

розточки, максимальні напруження в зоні контакту ЗЕ із жорсткою геометрією більші приблизно на 8-9% від максимальних напружень, які виникають в зоні контакту адаптивного ЗЕ.

Першим етапом експериментальних досліджень було дослідження деформацій кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ. В результаті дослідів на експериментальному стенді (рис.6) отримані значення переміщень залежно від навантаження і діаметра заготовки, їх середні значення, дисперсії паралельних дослідів.

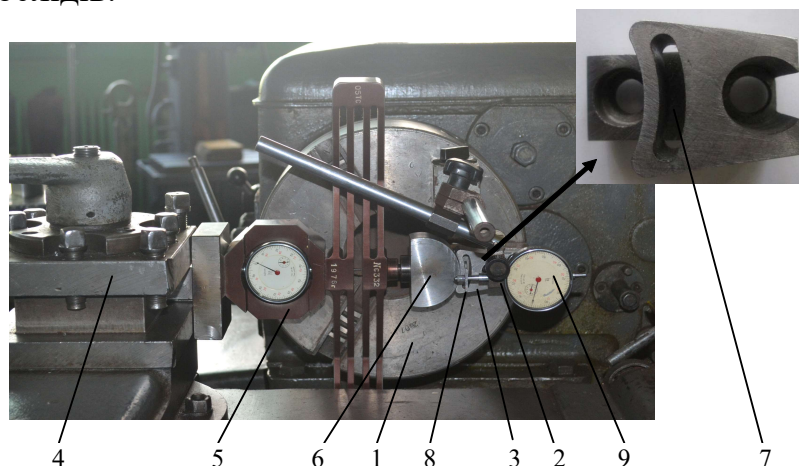


Рис. 6. Експериментальний стенд на базі верстата мод. 1К62 для дослідження переміщень найбільш деформованої частини кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ: 1 - патрон; 2 - кулачок; 3 - адаптивний ЗЕ; 4 - різцетримач; 5 - динамометр; 6 - оправка; 7 – порожнина ЗЕ; 8 – планка; 9 - індикатор

Перевірка однорідності дисперсій проводилася за критерієм Кохрена. Для встановлення виду емпіричної залежності за отриманими в результаті експерименту значеннями у вузлових точках з деякою похибкою, використовувався метод найменших квадратів – апроксимація поліномами. В результаті комп'ютерної обробки експериментальних даних встановлена адекватність опису поліномами першої степені залежності переміщень для різних діаметрів заготовок від навантаження. Коефіцієнти кореляції для отриманих залежностей лежать в межах 0,99...0,999. Дослідженнями встановлено, що залежність переміщень від навантаження прямопропорційна для різних діаметрів заготовок.

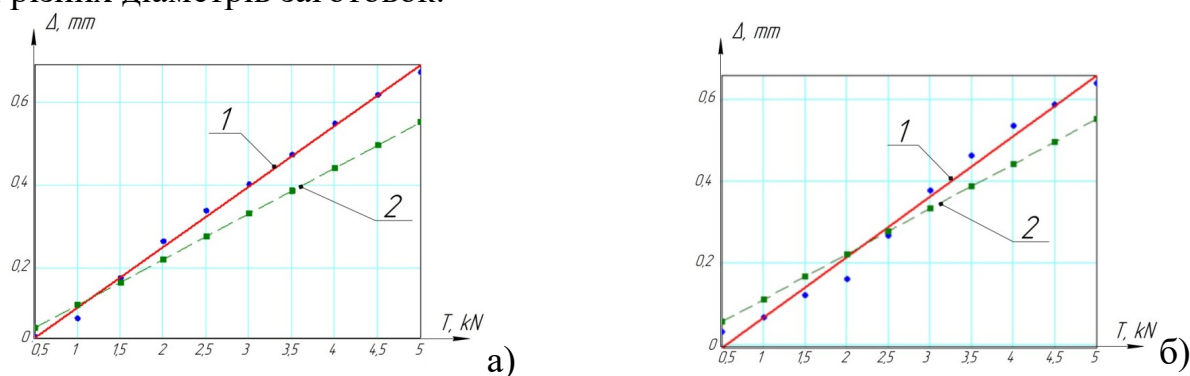


Рис. 7. Графіки залежності переміщень найбільш деформованої частини зони затиску адаптивного ЗЕ від сили затиску, визначені експериментально (1) та теоретично (2) для діаметра дослідної заготовки 65 мм (а), 67 мм (б)

Проведено порівняння теоретичних досліджень, здійснених за допомогою комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів (рис. 7) та експериментальних даних. В результаті таких порівнянь було виявлено, що похибка між ними складає від 3 до 25%. Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні розрахунки та показали, що затискна частина кулачка деформується в достатній мірі для повного прилягання поверхонь затиску кулачка та заготовки.

З отриманих результатів експериментального дослідження радіального биття оправок, встановлених у адаптивних ЗЕ та ЗЕ із жорсткою геометрією (рис. 8), випливає, що використання адаптивних ЗЕ при закріпленні заготовок в токарних кулачкових патронах зменшує радіальне биття від 8,7% до 30,1% у порівнянні з використанням ЗЕ із жорсткою геометрією, що відповідно підвищує якісні показники механічної обробки.

Експериментальні дослідження радіальних відтискань, викликаних силовим навантаженням, проводилися при різних зусиллях затиску ЗП, діаметрах оправок та положеннях адаптивного ЗЕ і ЗЕ із жорсткою геометрією. На основі оброблених за допомогою ЕОМ експериментальних даних отримані графічні залежності радіальних відтискань від прикладеного навантаження для пяти кутових положень токарного патрона (в межах $0...120^\circ$) та різних діаметрів оправок (рис. 9).

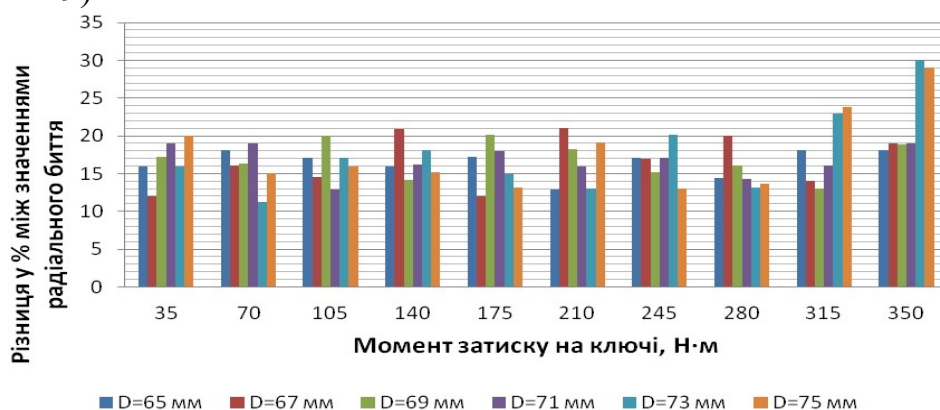


Рис. 8. Порівняння значень радіального биття для оправок, закріплених в адаптивних ЗЕ та ЗЕ із жорсткою геометрією, від моменту на ключі затиску

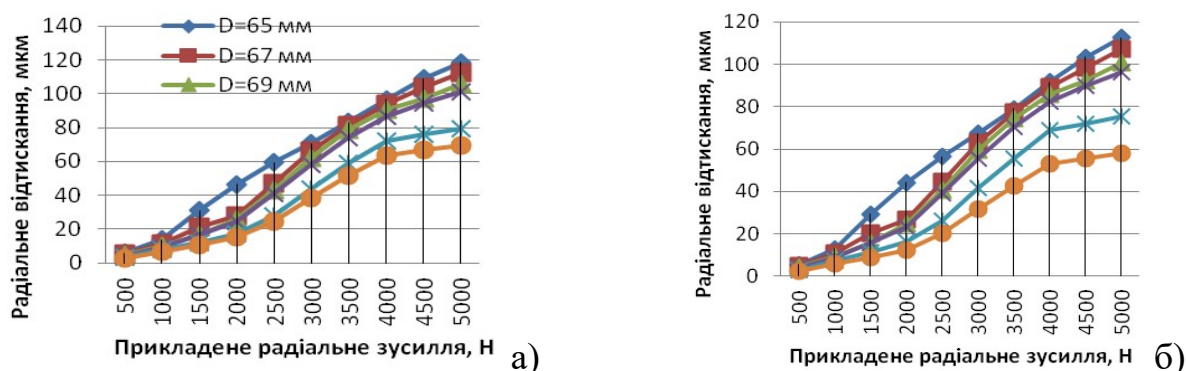


Рис. 9. Графіки залежності величини радіального відтискання оправок від величини радіального навантаження та діаметра затиску при положенні адаптивного ЗЕ в 0° та 120° при зусиллі затиску на ключі: а) 35 Н·м, б) 140 Н·м

Аналіз залежностей радіальних відтискань оправок від кутів повороту дозволяють зробити наступні висновки: величина відтискань оправок для різних діаметрів оправок різна через різну власну жорсткість оправок і площі контакту адаптивного ЗЕ з оправками; різниця між величинами відтискання для різних положень адаптивного ЗЕ складає до 10%; відтискання оправок описуються емпіричними залежностями близькими до лінійних.

Із аналізу залежностей радіальних відтискань оправок можна зробити висновок, що використання адаптивних ЗЕ дозволяє зменшити радіальне відтискання заготовки від 10,2% до 25,6% порівняно з використанням ЗЕ із жорсткою геометрією.

У п'ятому розділі «Ефективність застосування затискних патронів з адаптивними затискними елементами і рекомендації щодо їх проектування» досліджено показники покращення якості оброблення деталей циліндричної форми з використанням розроблених патронів із гнучкими ЗЕ адаптивного типу.

При цьому проводились експериментальні випробування вказаних патронів. Реалізація плану експерименту проведена у лабораторних умовах Технічного коледжу ТНТУ ім. І. Пулюя та ТОВ «Люізо» (Тернопіль).

Оброблялися деталі за режимами згідно розробленого плану експерименту із конструкційної сталі 45 на токарно-гвинторізному верстаті мод. 1К62, оснащеному токарним патроном із дослідним зразком адаптивного ЗЕ. Відхилення від круглості оброблених деталей вимірювалося в контрольній лабораторії ТНТУ ім. І. Пулюя.

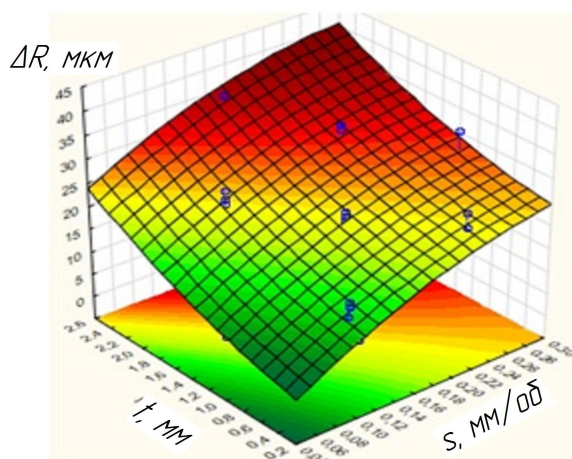


Рис.10. Поверхня відгуку відхилення від круглості ΔR при зміні факторів S та t при $D=65\text{мм}$, $n=800\text{об/хв}$

Отримані відхилення від круглості в результаті обробки круглограм згідно плану експерименту є точками відгуку системи на дію кожного окремого сполучення факторів. Аналіз результатів експерименту здійснювався за допомогою ЕОМ, що дозволило виділити фактори, які чинять найбільший вплив на відгук системи (рис.10), та визначити коефіцієнти регресійної моделі апроксимації результатів експерименту, яка має вигляд:

$$\begin{aligned} \Delta R = & 22,06285 + 8,61832 \cdot S - 2,78505 \cdot n + 8,89876 \cdot t + 0,06219 \cdot D - 0,02549 \cdot S \cdot n \\ & - 0,40283 \cdot S \cdot t + 1,42717 \cdot S \cdot D + 1,66493 \cdot n \cdot t - 1,67743 \cdot n \cdot D + 0,65283 \cdot t \cdot D - \\ & - 1,34264 \cdot S^2 + 0,17297 \cdot n^2 + 1,61576 \cdot t^2 - 0,09264 \cdot D^2 \end{aligned} \quad (8)$$

де ΔR – відхилення від круглості; t, S, n – глибина, подача і частота обертання шпинделя відповідно; D – діаметр затиску оброблюваної заготовки.

Запропоновані нові конструкції адаптивних ЗЕ для оснащення токарних патронів різних типів. Розроблено методику вибору і розрахунку основних конструктивних параметрів адаптивних ЗЕ при їх проектуванні залежно від діапазону затиску.

Проведено попередню техніко-економічну оцінку ефективності впровадження запропонованої конструкції адаптивних ЗЕ. Приведені перспективи подальшого розвитку адаптивних затискних систем для верстатів нового покоління (багатофункціональних токарних обробляючих центрів, високошвидкісних токарних обробляючих центрів та ін.).

Результати дисертаційного дослідження передано для впровадження у ТОВ «Люїзо» (м. Тернопіль) для оброблення валів, якими оснащуються машини для порізки сталі та ТОВ «Агросем» (м. Тернопіль), для оброблення валів навіски сільськогосподарської техніки. Вони також використовуються в навчальному процесі на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин ТНТУ ім. І. Пулюя.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена задача створення нових конструкцій затискних елементів токарних кулачкових патронів з адаптацією до поверхні затиску та обґрунтування їх характеристик, що забезпечує підвищення гнучкості обладнання для токарної обробки, яке працює в умовах частого переналагодження.

1. Здійснена реалізація евристичних прийомів повного та неповного розчленування ЗЕ, створення пустот в ЗЕ, або їх комбінації, використання здатних до деформування кільцевих сегментів та розроблений метод конструктивно-функціонального синтезу для створення нових затискних пристроїв з адаптацією ЗЕ до поверхні затиску дозволяють скоротити кількість комплектів ЗЕ та забезпечити прилягання контактуючої поверхні ЗЕ до поверхні затиску заготовки.

2. Розроблено теоретичні методики аналізу умов затиску в зоні контакту між ЗЕ і поверхнею затиску, а також оцінки напружено-деформованого стану у цій зоні для адаптивних ЗЕ, що дає змогу вибрати раціональні конструктивні параметри адаптивних ЗЕ в залежності від параметрів поверхонь затиску та експлуатаційний параметрів.

3. На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що із збільшенням діаметра затиску від мінімального до максимального для заданого діапазону діаметрів заготовок максимальні еквівалентні напруження в зоні затиску при максимальній силі затиску адаптивним ЗЕ зменшуються у 1,28 раз. Аналіз результатів моделювання показав, що затискна частина адаптивного ЗЕ при навантаженнях силою затиску в діапазоні 500...5000 Н працює в зоні пружних деформацій і забезпечує її повний контакт із заготовкою в заданому діапазоні діаметрів. Дослідження напружено-деформованого стану адаптивних

ЗЕ показали, що раціональною є товщина стінки кільцевого сегменту зони затиску, яка знаходиться в межах 3,5...4,5 мм. При такій товщині досягаються максимальні деформації і при цьому стінка кільцевого сегменту працює в зоні пружних деформацій.

4. Результати експериментальних досліджень деформацій кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ підтвердили теоретичні розрахунки та показали, що його затискна частина деформується в достатній мірі для повного прилягання поверхонь затиску ЗЕ до заготовки. Різниця між результатами теоретичних досліджень, проведених за допомогою комп'ютерного моделювання методом скінченних елементів та експериментальних даних складає від 3 до 25%.

5. Експериментальним шляхом встановлено, що використання адаптивних ЗЕ при закріпленні заготовок в токарних кулачкових патронах забезпечує зменшення радіального биття оправок від 8,7% до 30,1% у порівнянні з використанням ЗЕ із жорсткою геометрією, що дозволяє підвищити якісні показники механічної обробки.

6. Експериментально доведено, що величина радіального биття зменшується від 11 до 16 мкм при збільшенні діаметру оброблюваної заготовки від мінімального до максимального для заданого діпазону діаметрів затиску та в 1,3 рази зменшується при збільшенні величини зусилля затиску в 10 раз.

7. Експериментально встановлено, що в межах кожного оберту ЗП з адаптивними ЗЕ радіальні відтискання системи патрон-деталь змінюються від 7 до 10%, а використання адаптивних ЗЕ дозволяє зменшити радіальне відтискання заготовки від 10,2% до 25,6% в порівнянні з використанням ЗЕ із «жорсткою геометрією».

8. В результаті лабораторних та виробничих випробувань отримано емпіричну модель оцінки впливу параметрів обробки та діаметра затиску на формування похибки форми (динамічної похибки), що дозволяє прогнозувати вихідні параметри точності при заданих режимах обробки. В результаті дисперсійного аналізу встановлено, що для отримання необхідної точності форми при обробленні на верстаті, оснащеному ЗП із адаптивними ЗЕ, доцільно керувати найбільш статистично значимими факторами, якими є глибина різання і подача.

9. Розроблені нові конструкції затискних патронів із адаптивними ЗЕ та методики вибору їх раціональних конструктивних параметрів. Результати роботи прийняті для впровадження на ТОВ «Люізо» (м.Тернопіль) і ТОВ «Агросем» (м.Тернопіль) та використовуються у освітньому процесі ТНТУ ім. Івана Пулюя на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Луців І.В. Підвищення гнучкості токарних патронів шляхом адаптації кулачків до поверхні затиску / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». - 2013. - Випуск 41, частина І. - С. 166 – 170.

2. Луців І.В. Адаптивні елементи механізмів затиску автоматизованого обладнання для токарного оброблення / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. - 2013. - Випуск 772. - С. 62 – 66.

3. Lutsiv I. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface / I. Lutsiv, V. Voloshyn, R. Bytsa // Machines, Technologies, Materials. International journal. Bulgaria. - 2015. - Issue 12/2015. - pp. 64-67.

4. Lutsiv Igor. Experimental research of deformation zone of adaptive clamping elements for lathe jaws chucks / Igor Lutsiv, Vitalij Voloshyn, Roman Bytsa // Scientific journal of the Ternopil national technical university. - 2016. - №2 (82). - pp. 55-61.

5. Бица Р.О. Адаптивные зажимные элементы зажимных патронов для токарных станков / Р.О. Бица // Сборник статей III международной научно-практической конференции «Новые технологии наукоемкого машиностроения: приоритеты развития и подготовка кадров», 27 ноября 2015 г., г. Набережные Челны (Россия). - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. - С.18-25.

6. Пат. 105514 Україна, МПК В 23В31/10. Адаптивний затискний кулачок / Луців І.В., Волошин В.Н., Бица Р.О.; заявник Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. - № u 2015 08587; заявл.04.09.15; опубл. 25.03.16.

7. Бица Р.О. Застосування CAD/CAE систем для дослідження адаптивних затискних елементів токарних патронів / Р.О. Бица // Збірник наукових праць міжнародної науковр-технічної конференції студентів і молодих вчених «Молода наука. Технологія машинобудування», 06-08 квітня 2016р.: тези допов. - Краматорськ, 2016. - С.33 – 37.

8. Волошин В.Н. Підвищення гнучкості токарних патронів шляхом адаптації кулачків до поверхні затиску / В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 19-20 грудня 2012р. : тези допов. - Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. - С. 66.

9. Луців І.В. Забезпечення гнучкості токарних верстатів шляхом адаптації затискних елементів токарних патронів до поверхні затиску / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали XVIII наукової конференції ТНТУ ім. І.Пулюя, 29-30 жовтня 2014 р.: тези допов. - Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2014. - С. 33.

10. Луців І.В. Визначення деформації поверхні контакту затискних елементів адаптивного типу / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 19-20 листопада 2014 р.: тези допов. - Тернопіль: ТНТУ, 2014. - С. 117.

11. Луців І.В. Адаптивні затискні елементи механізмів затиску автоматизованого обладнання для токарної обробки / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали II Всеукраїнської науково-технічної

конференції "Прогресивні технології в машинобудуванні", 10-15 лютого 2014р. : тези допов. - Львів, 2014. - С. 35

12. Луців І.В. Адаптація затискних елементів токарних патронів до поверхні затиску / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2015): матеріали тез доповідей V міжнародної науково-практичної конференції, 19–22 травня 2015 р.: тези допов. - Чернігів: ЧНТУ, 2015. - С. 116-117.

13. Луців І.В. Адаптація механізмів затиску токарних верстатів / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» присвяченої 55-річчю заснування ТНТУ та 170-річчю з дня народження Івана Пулюя, 19–20 травня 2015 р.: тези допов. - Тернопіль: ТНТУ, 2015. - С. 116-117.

14. Луців І.В. Геометрична адаптація затискних механізмів автоматизованого обладнання для токарної обробки / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», 2—4 червня 2015 р. : тези допов. - Краматорськ: ДДМА, 2015. - С. 66.

15. Lutsiv I. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface / I. Lutsiv, V. Voloshyn, R. Bytsa // Scientific proceedings of the scientific-technical union mechanical engineering «IX International Conference for Young Researches «Technical Sciences and Industrial Management»», 07–10.09.2015. - Burgas (Bulgaria), 2015. - Vol. 18/181. - pp. 42-45.

16. Луців І.В. Експериментальне дослідження адаптивних затискних елементів токарних кулачкових патронів / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І.Пулюя, 18-19 травня 2016 р.: тези допов. - Тернопіль: ТНТУ, 2016. - С. 57-58.

17. Луців І.В. Експериментальні дослідження затискних елементів токарних патронів з адаптацією до поверхні затиску / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица, В.М. Буховець // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 2, 14-18 вересня 2016р. : тези допов. - Херсон: ХНТУ, 2016. - С. 225-227.

18. Луців І.В. Експериментальні дослідження токарних самоцентрівних патронів з адаптивними затискними елементами / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица, В.М. Буховець, Н.П. Кашуба // Збірник наукових праць VI Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні», 6-10 лютого 2017р.: тези допов. - Львів, 2017. - С. 70-72.

19. Луців І.В. Конструктивно-функціональний синтез токарних патронів з адаптацією затискних елементів до поверхні затиску / І.В. Луців, В.Н. Волошин, Р.О. Бица // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», Том 1, 24-27 квітня 2017р.: тези допов. - Чернігів, 2017. - С.79-80.

АНОТАЦІЯ

Бица Р.О. Обґрунтування характеристик токарних кулачкових патронів з адаптивними затискними елементами. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – " Процеси механічної обробки, верстати та інструменти". - Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2017.

Дисертація присвячена створенню та дослідженню адаптивних ЗЕ для оснащення токарних патронів. Запропоновано новий принцип створення ЗЕ із автоматичним набуттям форми в процесі затиску, який полягає у навмисному введенні в їх конструкцію зон деформації на основі евристичних прийомів повного та неповного розчленування ЗЕ, створення пустот в ЗЕ, або їх комбінації, використання здатних до деформування кільцевих сегментів.

Розроблені теоретичні методики аналізу умов затиску в зоні контакту між ЗЕ і поверхнею затиску, а також оцінки напружено-деформованого стану у цій зоні для адаптивних ЗЕ з використанням скінченно-елементних моделей та енергетичного методу дослідження деформацій Максвелла-Мора.

Експериментально досліджено залежності переміщень найбільш деформованої частини кільцевого сегменту зони затиску адаптивного ЗЕ в діапазоні його діаметрів затиску та в робочому діапазоні зусиль затиску, радіальне биття та радіальні відтискань оправок, затиснутих у адаптивних ЗЕ та ЗЕ із жорсткою геометрією, при різних зусиллях затиску.

За допомогою багатофакторного експерименту досліджено вплив параметрів процесу обробки деталей, затиснутих у адаптивних ЗЕ, на якісні показники обробленої деталі. Запропоновано методику вибору раціональних параметрів при конструюванні ЗЕ з можливістю адаптації до поверхні затиску.

Ключові слова: затискний кулачок, адаптивний затискний елемент, поверхня затиску, якість оброблення, зона деформації.

АННОТАЦИЯ

Быца Р.О. Обоснование характеристик токарных кулачковых патронов с адаптивными зажимными элементами. - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 - "Процессы механической обработки, станки и инструменты". - Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2017.

Диссертация посвящена созданию и исследованию адаптивных зажимных элементов (ЗЭ) для оснащения токарных патронов. Предложен новый принцип создания ЗЭ с автоматическим получением формы в процессе зажима, который заключается в преднамеренном введении в их конструкцию зон деформации на основе эвристических приемов полного и неполного расчленения ЗЭ, создание пустот в ЗЭ, или их комбинации, использование способных к деформации

кольцевых сегментов.

Разработаны теоретические методики анализа условий зажима в зоне контакта между ЗЭ и поверхностью зажима, а также оценки напряженно-деформированного состояния в этой зоне для адаптивных ЗЭ с использованием конечно-элементных моделей.

Экспериментально исследованы зависимости перемещений наиболее деформированной части кольцевого сегмента зоны зажима адаптивного ЗЭ в диапазоне его диаметров зажима и в рабочем диапазоне усилий зажима, радиальное биение и радиальные отжимания оправок, зажатых в адаптивных ЗЭ и ЗЭ с жесткой геометрией, при различных усилиях зажима.

С помощью многофакторного эксперимента исследовано влияние параметров процесса обработки деталей, зажатых в адаптивных ЗЭ, на качественные показатели обработанной детали. Предложена методика выбора рациональных параметров при конструировании ЗЭ с возможностью адаптации к поверхности зажима.

Ключевые слова: зажимной кулачок, адаптивный зажимной элемент, поверхность зажима, качество обработки, зона деформации.

SUMMARY

Bytsa R.O. Justification characteristics of lathe chucks with adaptive clamping elements. - The qualification scientific work on the manuscript copyright.

Ph.D. thesis in Engineering Science with major in 05.03.01 - machining processes, machine tools and tools. - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2017.

The thesis is devoted to the creation and research of adaptive clamping elements for equipping lathe chucks. A new principle of creating clamping elements with automatic entry forms during the clamping is proposed, which deals with the introduction into their design zones of deformation, which based on heuristic methods of full and partial dismemberment of clamping elements, creating voids in the clamping elements, or a combination, use capable of deformation ring segments..

The theoretical methods of analysis of clamping conditions in the contact zone between the clamping element and the clamping surface is developed as well as the assessment of stress-strain state in the area for adaptive clamping elements using finite-element models and Maxwell-Mohr energy method.

The deformations are experimentally investigated depending on the most deformed part of the ring segment of adaptive clamping element clamping zones in the range of its clamping diameter and operating range of clamping

Using multi factorial experiment, investigated the influence of parameters of machining, which clamped in adaptive clamping elements on quality indicators machined work piece. The method of selecting rational parameters in the design of clamping elements with the ability to adapt to the surface of the clamp was proposed.

Key words: clamping jaw, adaptive clamping element, clamping surface, processing quality, deformation zone.