

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

МАРЧУК НАЗАР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.95

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА СИНТЕЗ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ
ОБРОБЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ**

05.03.01 – процеси механічної обробки,
верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2018

Дисертація на правах рукопису.

Роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Гевко Богдан Матвійович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, професор кафедри автомобілів,
Заслужений винахідник України.

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,
Заслужений винахідник України;

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

Захист відбудеться «9» листопада 2018 р. об 11:00 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, аудиторія 79.

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

Автореферат розіслано «4» жовтня 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.Є. Дячун

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомо, що понад 60% деталей більшості сучасних машин і механізмів мають різьбові з'єднання, обробка яких ріжучими інструментами в деталях з кольорових металів, їх сплавів, а також високопластичних сталей являє собою досить складну технологічну задачу. Це має особливо серйозне значення при виготовленні точних різьбових отворів в тонкостінних деталях машин.

Широке використання різьбових з'єднань у машинобудуванні обумовлено їхньою простотою та високою несучою здатністю з'єднань деталей. Застосуванню різноманітних різьбових з'єднань сприяють також наявність значної номенклатури спеціальних різьбових деталей, пристосованості до різних варіантів з'єднань, їхня широка стандартизація та мала вартість в умовах масового виготовлення.

Створення нових конструкцій деталей машин з різьбовими отворами, удосконалення конструкції мітчиків і оптимізація геометрії їх ріжучої частини, поліпшення якості робочих поверхонь, застосування оптимальних налагоджень і нових видів охолодження не вирішують повністю питання високопродуктивного та якісного виготовлення внутрішніх різьбових поверхонь у високопластичних матеріалах та тонкостінних деталях машин.

Тому вирішення наукового завдання, яке полягає у розробленні та практичній реалізації раціональних технологічних процесів виготовлення різьбових отворів є **актуальним**, доцільним і перспективним для машинобудівної галузі України та інших держав.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що складають основи дисертаційної роботи, виконані відповідно до Державної науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України за напрямком «Виробництво машин і технологічного обладнання для сільськогосподарської, харчової і переробної промисловості». Основні положення роботи увійшли до звіту по темі «Синтез гвинтових транспортно-технологічних механізмів з розширеними технологічними можливостями на основі САПР «Гвинтові конвеєри»» (№ держ. реєстр. 0115U 002450), яка реалізується в рамках Постанови Кабінету Міністрів України «Про розвиток сільськогосподарського машинобудування і забезпечення агропромислового комплексу конкурентоспроможною технікою».

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи* є розроблення та реалізація технологічних процесів, інструментів та устаткування для підвищення ефективності виготовлення різьбових отворів тонкостінних деталей машин.

Для досягнення мети в роботі поставлені і вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз відомих технологій та конструкцій інструментів для оброблення різьбових отворів і розроблено наукову концепцію технологічного забезпечення одержання таких деталей, що відповідають сучасним вимогам за технологічною собівартістю, матеріало- та енергоємністю;

- виведено аналітичні залежності для визначення основних силових параметрів процесів виготовлення отворів і нарізання в них різьби залежно від їх конструктивних і технологічних параметрів;

- розроблено багатоваріантну структуру і морфологічну модель конструктивних та функціональних можливостей реалізації процесів нарізання різьби в отворах, а також принципи синтезу необхідного технологічного оснащення, яке вдосконалюється із використанням трьох ієрархічних рівнів технічної системи нарізання різьби в отворах, яка в процесі синтезу генерує множину можливих альтернатив для кожного з трьох ієрархічних рівнів;

- розроблено динамічну модель нарізання різьби і обґрунтування параметрів технологічного процесу нарізання різьби зігнутими мітчиками з визначенням силових характеристик і режимів різання та встановлено характер змін навантажень при врізанні і виході зубів мітчика при закінченні нарізання різьби;

- спроектовано і виготовлено відповідне спорядження та інструменти для формування різьбових профілів;

- проведено комплекс експериментальних досліджень для визначення основних конструктивних та силових параметрів процесів формоутворення різьби;

- виведені регресійні залежності для визначення сили нарізання різьби на вході і виході інструментів;

- розроблено інженерну методику проектування технологічного оснащення та різальних інструментів з подальшим впровадженням у виробництво.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення різьбових отворів в тонкостінних деталях машин.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструкторсько-технологічних чинників для формоутворення різьбових отворів, закономірності впливу їх параметрів на силові характеристики формоутворюючих процесів.

Методи дослідження. В основу досліджень було покладено загальні положення технології машинобудування, теорії різання матеріалів, методів механіко-математичного моделювання, інженерної творчості, опору матеріалів, теорії пружності та інформатики. Експериментальні дослідження здійснено за допомогою методів математичного планування експерименту з використанням комп'ютерної техніки і прикладного програмного забезпечення та стандартних методик із застосуванням спеціального спроектованого та виготовленого технологічного устаткування та інструменту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- вперше розроблено нові методи проектування технологічної системи “Різьбонарізний інструмент для обробки отворів тонкостінних деталей машин”, з використанням системно-морфологічного підходу до структурно-схемного синтезу ієрархічних груп із урахуванням техніко-економічного обґрунтування ефективності конструкцій;

- вперше розроблена динамічна модель технологічного процесу нарізання різьби в гайках мітчиком із зігнутим хвостовиком, виведено

диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань та побудовано графічні залежності для визначення динамічних моментів під час їх роботи;

- вперше досліджено технологічний процес нарізання різьби реверсивним пристроєм в тонкостінних деталях машин, виведені аналітичні залежності для визначення граничних силових і конструктивних параметрів.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена нова конструкція інструмента для оброблення різьбових отворів тонкостінних деталей машин та виведено аналітичні залежності для визначення основних силових параметрів процесів залежно від їх конструктивних і технологічних параметрів. Розроблено стендове обладнання та виготовлено експериментальний інструмент для оброблення різьбових отворів тонкостінних деталей машин, а також методики проведення досліджень для визначення енергосилових параметрів технологічного процесу свердління та нарізання різьби залежно від режимів роботи. Запропоновано методику й прикладне програмне забезпечення проектування і вибору технологічної системи “Різьбонарізний інструмент для обробки отворів тонкостінних деталей машин” з урахуванням техніко-економічних чинників.

Технічна новизна розробок захищена 6 патентами України на корисні моделі. Отримані наукові та практичні результати, методики й рекомендації впроваджено на ТозВ «Універст ЛТД» (м. Тернопіль) та ТДВ «Рівненське ремонтно-транспортне підприємство».

Особистий внесок здобувача. Викладено основні результати досліджень, отримані автором у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за період його роботи.

У працях, опублікованих у співавторстві та самостійно [1-3, 5, 7, 9, 11], автор обґрунтував основні параметри пристроїв для нарізання різьби в гайках і деталях машин. У працях [4, 6, 8] здобувач запропонував нові конструкції інструментів для виготовлення різьбових поверхонь. У працях здобувач також запропонував елементи конструкцій пристроїв для нарізання різьби та технологічність конструкцій різьбових з'єднань деталей машин [10, 12-18]. За матеріалами досліджень у співавторстві отримано 6 деклараційних патентів України на корисні моделі [19-24].

Апробація результатів дисертації. Основні положення виконаних досліджень доповідались і обговорювались на науково-технічних семінарах і наукових конференціях: міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (м. Тернопіль, ТНТУ, 2015-2016 р.р.); XXI науковій конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, ТНТУ, 2016 р.); шістнадцятій міжнародній молодіжній науково-технічній конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво» (м. Суми, СумДУ, 2016р.); третій всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції “Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин” Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П.М. Василенка (м. Харків, ХНТУСГ, 2017р.); міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль,

ТНТУ, 2018р.). У повному обсязі робота доповідалась і отримала позитивний відгук на науково-технічних семінарах у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя (2018 р.)

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи й результати дослідження опубліковано в 24 наукових працях, з них 11 публікацій – у наукових фахових виданнях України та 1 стаття в закордонному періодичному фаховому виданні, 7 матеріалів тез конференцій, 6 патенти України на корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 189 найменувань і 4 додатки. Основні результати викладено на 138 сторінках, де міститься 51 рисунок і 15 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність теми дисертаційної роботи, сформувано мету та завдання, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію, структуру та обсяг роботи.

В **першому розділі** проведено патентно-інформаційний огляд конструкцій пристроїв та інструментів для нарізання внутрішніх різьб, визначено стан питання та завдання дослідження.

Проведений аналіз літературних джерел і патентний пошук технологічних процесів нарізання різьби в отворах деталей машин свідчить про те, що вони піддаються конструктивному і технологічному удосконаленню в процесі їх відпрацювання на технологічність конструкції на основі технологічних і механіко-математичних методів моделювання їх роботи з виведенням теоретичних залежностей для визначення силових, кінематичних, конструктивних і технологічних параметрів.

Фундаментальні теоретичні основи дослідження конструкцій технологічного спорядження, що забезпечує регулювання подачі при свердлінні отворів та нарізання різьби викладено в наукових працях Добрянського С.С., Пуховського Є.С., Таурита Г.Е., Зіня М.М., Нагорняка С.Г., Луціва І.В., Шанайди В.В., Харченко О.О., Везуба М.В., Глоби О.В., Пасічника В.А., Равської Н.С., Зеленцова В.В., Кривого П.Д., Тарасюка А.П., Доброскока В.Л., Кобельника В.Р., Arola D., Aspinwall D.K., Bhatnagar N., Boehnke D., Brinksmeier E., Campbl F.C., Chen D., Chen W., Cong W.L., Weiss R.A, Zhang H. Повнотою та комплексним підходом до викладення питання теоретичного визначення нарізання різьби мітчиками характеризуються роботи С.О. Васіна, О.С. Верещаки, І.Г. Жаркова, В.С. Кушнера Ю.О. Розенберга М.Ф. Полетіки, В.І. Подураєва, Н.Н. Зорєва, Я.Л. Гуревича, А.М. Данієляна, Є.В. Бурмістрова, В.А. Кривоухова, Н.І. Резникова та інших. Значний вклад в питаннях системно-морфологічного підходу в галузі машинобудування внесли вчені Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Нагорняк С.Г., Настасенко В.О., Половинкін О.І.

Відповідно на основі проведеного аналітичного аналізу технологічних

процесів нарізання різьби в отворах тонкостінних деталей і технологічного оснащення для їх виготовлення і заміру конструктивних параметрів встановлено, що на практиці та в літературних джерелах цьому питанню приділено не достатньо уваги, питання є актуальним і його необхідно вирішувати, так як різьбові отвори, за різними даними, в деталях машин складають 60...70%.

В другому розділі наведено структурний синтез пристроїв та інструментів для нарізання різьби. Оскільки задачі структурно-схемного синтезу можуть бути різної складності, то морфологічний аналіз доцільно проводити на різних рівнях ієрархії, починаючи з нульового (рис.1).

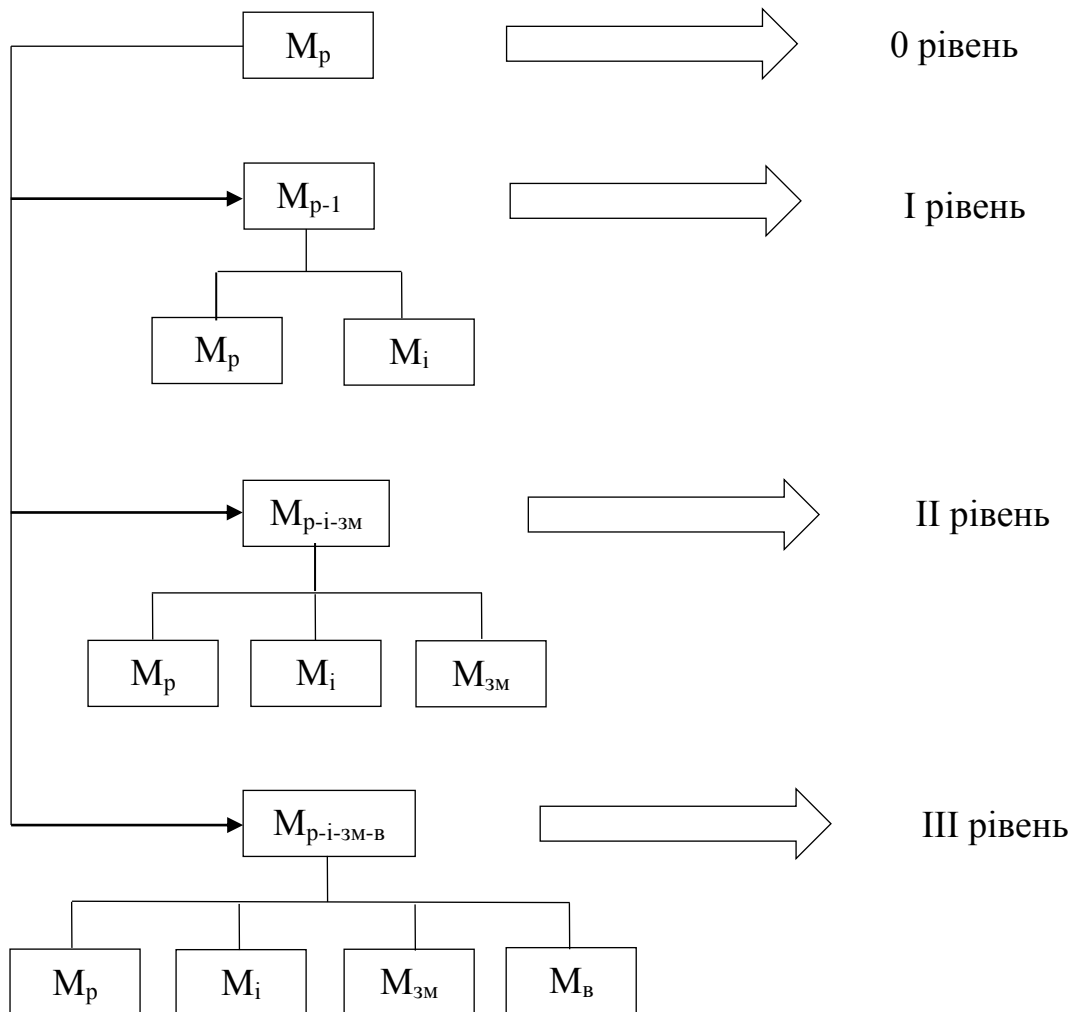


Рис.1. Ієрархія морфологічного аналізу і синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів: M_p – морфологічна матриця різьб; M_i – морфологічна матриця різьбового інструменту; M_{3M} – морфологічна матриця затискних механізмів для різьбових інструментів; M_B – морфологічна матриця верстатів для оброблення різьбових отворів

Для кожного рівня побудовано своя морфологічна модель у вигляді морфологічної таблиці і матриці з ознаками і альтернативами (варіантами) реалізації.

Для розв'язання конкретної промислової задачі кількість варіантів може бути додатково скорочена і зведена до можливості відбору кращих варіантів одним з методів експертної оцінки. В результаті реалізації морфологічного

синтезу на I рівні наведені дві запропоновані конструкції, які описані наступними морфологічними формулами:

$$X_1 = |1.1 \ 2.1 \ 3.1 \ 4.1 \ 5.3| \wedge |6.6 \ 7.8| \text{ (патент № 106937);}$$

$$X_2 = |1.1 \ 2.1 \ 3.1 \ 4.1 \ 5.3| \wedge |6.11 \ 7.5| \text{ (патент № 124001).}$$

Примітки, підкреслені у варіанті X_2 , - відмінні від варіанту X_1 альтернативи 6.11 і 7.5.

Аналогічно можна розглянути морфологічні моделі на II та III рівнях аналізу і синтезу верстано-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів на різних верстатах. Синтезовані конструкції захищені патентами України, які обрані методом експертної оцінки і мають покращені експлуатаційні характеристики.

На основі структурного синтезу пристроїв та інструментів для нарізання різьби запропоновано пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різьби в трубчастих заготовках (рис. 2).

Попередні розрахунки показали, що при свердлінні зміщеного отвору у втулці (рис. 3) найбільша невірноважена радіальна сила на свердлі ΔP_y зумовлена різною глибиною різання t_1 та t_2 відповідно лівої та правої ріжучих кромки та перемичок свердла.

Кромка свердла, що ближче розміщена до вісі симетрії втулки зрізає більший шар металу. Найбільша різниця глибин виникає в момент, коли одна із кромки починає контактувати з матеріалом заготовки по всій довжині. Глибину різання правої кромки можна визначити $t_2 = b - \Delta a$, де b - відстань від крайньої точки контакту правої кромки до вісі симетрії втулки, мм; Δa - величина зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки. Відстань від крайньої точки контакту правої кромки до вісі симетрії втулки знаходимо в системі координат xOy у точці перетину зовнішнього кола втулки та правої кромки свердла.

Зовнішнє коло втулки визначено рівнянням $x^2 + y^2 = R^2$, де R - зовнішній радіус втулки, мм. Рівняння лінії правої кромки свердла:

$$y_2 = \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right)(x - \Delta a) + \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2}, \quad (1)$$

де φ - кут при вершині свердла, град; R_g - внутрішній радіус втулки, мм.

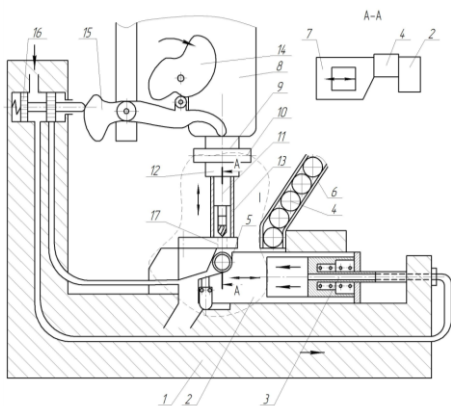


Рис. 2. Конструктивна схема пневматичного автоматизованого пристрою для свердління і нарізання різьби в трубчастих заготовках

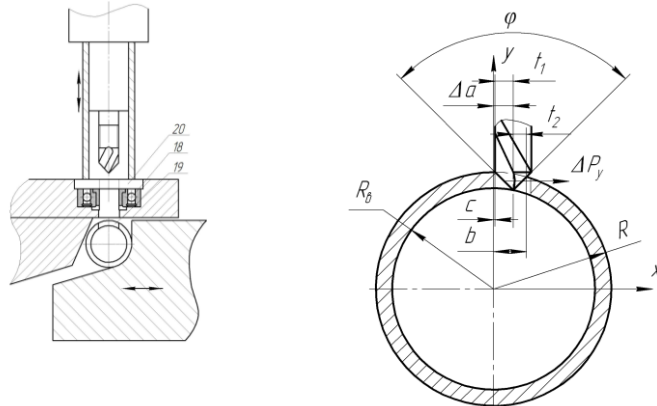


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення величини невірноваженої радіальної сили на свердлі

Для знаходження відстані b і c від крайньої точки контакту правої кромки до вісі симетрії втулки складено систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} y &= \sqrt{R^2 - b^2}; \\ y &= k_2(b - \Delta a) + \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де $k_2 = \operatorname{tg}\left(90 - \frac{\varphi}{2}\right)$.

Після розв'язку системи рівнянь (2) одержали вираз:

$$b = \frac{1}{(1+k_2^2)} \left(k_2^2 \Delta a - k_2 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} + \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_2^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_2 \Delta a + k_2^2 R^2} \right). \quad (3)$$

Тоді глибина різання для правої кромки буде становити:

$$t_2 = \frac{1}{(1+k_2^2)} \left(k_2^2 \Delta a - k_2 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} + \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_2^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_2 \Delta a + k_2^2 R^2} \right) - \Delta a. \quad (4)$$

Глибину різання лівої кромки можна визначити за формулою $t_1 = \Delta a - c$, де c – відстань від крайньої точки контакту лівої кромки до вісі симетрії втулки, мм.

Відстань c від крайньої точки контакту лівої кромки до вісі симетрії втулки аналогічно знаходимо з рис. 3.

$$c = \frac{1}{(1+k_1^2)} \left(k_1^2 \Delta a - k_1 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} - \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_1^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_1 \Delta a + k_1^2 R^2} \right), \quad (5)$$

де $k_1 = \operatorname{tg}\left(90 + \frac{\varphi}{2}\right)$.

Глибина різання для лівої кромки буде становити:

$$t_1 = \Delta a - \frac{1}{(1+k_1^2)} \left(k_1^2 \Delta a - k_1 \sqrt{R_g^2 - \Delta a^2} - \sqrt{R^2 - R_g^2 + \Delta a^2 - k_1^2 \Delta a^2 + 2\sqrt{R_g^2 + \Delta a^2} k_1 \Delta a + k_1^2 R^2} \right). \quad (6)$$

Різниця глибин різання лівої та правої кромки $\Delta t = t_1 - t_2$. На основі рівнянь (4) та (6) побудовані графіки залежності різниці глибин різання лівої та правої кромки Δt від величина зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки Δa (рис. 4). Для визначення величини неврівноваженої радіальної сили $\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}$, де P_{y1} та P_{y2} радіальні сили різання, які виникають відповідно на лівій і правій кромках свердла при однакових режимах різання, які прямопропорційні глибинам різання t_1 та t_2 , побудовані графічні залежності величини неврівноваженої радіальної сили ΔP_y від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки Δa (рис. 5) для сталі 45.

Із графіків на (рис. 4) видно, що при малих зміщеннях вісі свердла відносно вісі симетрії втулки виникає різниця глибин різання лівої та правої кромки, що призводить до згину свердла, а із (рис. 5) видно, що при малих

зміщеннях вісі свердла відносно вісі симетрії втулки виникає достатня величина невраїноважаєної радiальної сили, що призводить погiршення якостi отвору. Тому у таких випадках доцiльним є використання кондукторних втулок, або радiально-упорних пiдшипникiв.

В процесi автоматичного наризання рiзби в гайках одним iз важливих параметрiв, який впливає на точнiсть середнього дiаметру, кроку та шорсткостi поверхнi утвореної рiзби є кут деформацiї мiтчика в наслiдок динамiчних навантажень. Чим бiльший кут деформацiї, тим бiльша похибка обробки. Особливо це важливо при наризаннi рiзби малого дiаметра з великим кроком, коли жорсткiсть мiтчика є порiвняно низькою.

На основi вищесказаного виникає необхiднiсть у дослiдженнi динамiчних навантажень на елементи пристрою для наризання рiзби та характер перемiщення його складових. Цi перемiщення можна знайти за допомогою вирiшення диференцiальних рiвнянь руху. Для спрощення розрахункiв здiйснюємо деяку iдеалiзацiю системи, не враховуючи другоряднi фактори.

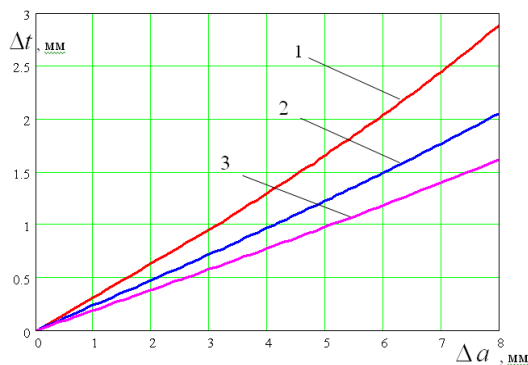


Рис. 4. Графіки залежності різниці глибин різання лівої та правої кромки Δt від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки Δa для матеріалу сталь 45:

- 1) $R=25\text{мм}$; $R_g = 20 \text{ мм}$; 2) $R=35\text{мм}$; $R_g = 30 \text{ мм}$; 3) $R=45\text{мм}$; $R_g = 40 \text{ мм}$

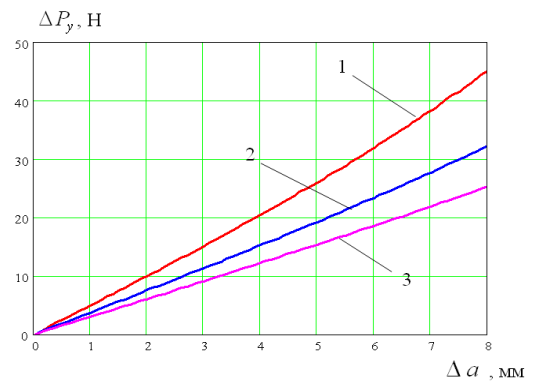


Рис. 5. Графіки залежності величини невраїноважаєної радiальної сили ΔP_y від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки Δa :

- 1) $R=25\text{мм}$; $R_g = 20 \text{ мм}$; 2) $R=35\text{мм}$; $R_g = 30 \text{ мм}$; 3) $R=45\text{мм}$; $R_g = 40 \text{ мм}$

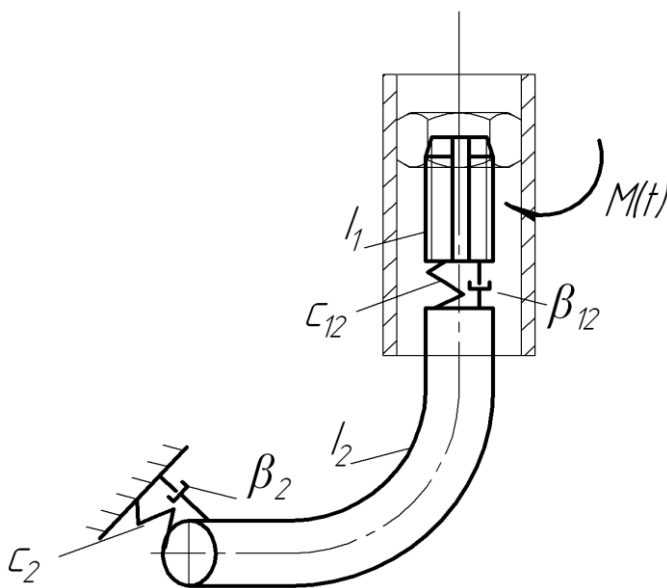


Рис. 6. Розрахункова схема частини пристрою для наризання рiзби в гайках

Розрахункову схему частини пристрою для наризання рiзби в гайках можна представити так, як це показано на рис. 6. Ця модель представлена у виглядi зосереджених мас, що з'єднанi пружними зв'язками. Пружнi зв'язки допустимо невагомими, що характеризуються постійним коефiциєнтом жорсткостi. Мiсцевими напруженнями i деформацiями в мiсцях з'єднання окремих елементiв знехтувано. До зосереджених мас вiднесено: I_1 – момент iнерцiї мiтчика; I_2 – моменти iнерцiї хвостовика. Крім цього, на рис. 6 показано C_{12} – приведена жорсткiсть зв'язання мiж мiтчиком та хвостовиком, C_2 – жорсткiсть зв'язання мiтчика з втулкою.

з'єднань між хвостовиком і корпусом, β_{12} – коефіцієнт демпфування між мітчиком і хвостовиком, β_2 – коефіцієнти демпфування між хвостовиком і корпусом.

Під час нарізання різьби виникає момент різання $M(t)$. Враховуючи те, що на початку і в кінці зони різання, коли відбувається врізання і вихід зубів проходить зміна величини глибини різання, на цих ділянках момент різання $M_1(t)$ для кожного зуба представимо відповідно зростаючою і спадаючою лінійними залежностями.

Вивченню впливу конструктивних і геометричних параметрів мітчика на усталений момент різання M_{pi3} присвячено велику кількість досліджень, які носять переважно експериментальний характер і враховують в основному три фактори – номінальний діаметр, крок різьби та матеріал гайки. Залежність зростання моменту різання $M_1(t)$ для кожного зуба представимо функцією

$$M_1(t) = \frac{M_{pi3}}{zt_v} (t - (z-1)t_3),$$
 де t_v – час, на протязі якого проходить поступове врізання зуба мітчика, с; t_3 – час між проміжками врізання попереднього і наступного зубів, с; z – кількість зубів на мітчику.

Моменти різання представимо алгебро-логічною функцією:

$$M_z(t) = \frac{M_1(t) + M_{pi3} - |M_1(t) - M_{pi3}| + |M_1(t) + M_{pi3} - |M_1(t) - M_{pi3}||}{4} \quad (7)$$

Зміну моменту різання $M(t)$ у часі представлено у вигляді графіків на рис. 7. За узагальнені координати вибрано кути повороту інерційних мас φ_1, φ_2 .

Кінетична енергія системи: $T = \frac{I_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2}$. Потенціальна енергія системи

$$\Pi = \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_2 \cdot \varphi_2^2}{2}. \quad \text{Функція розсіювання } \Phi = \frac{\beta_{12} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2}.$$

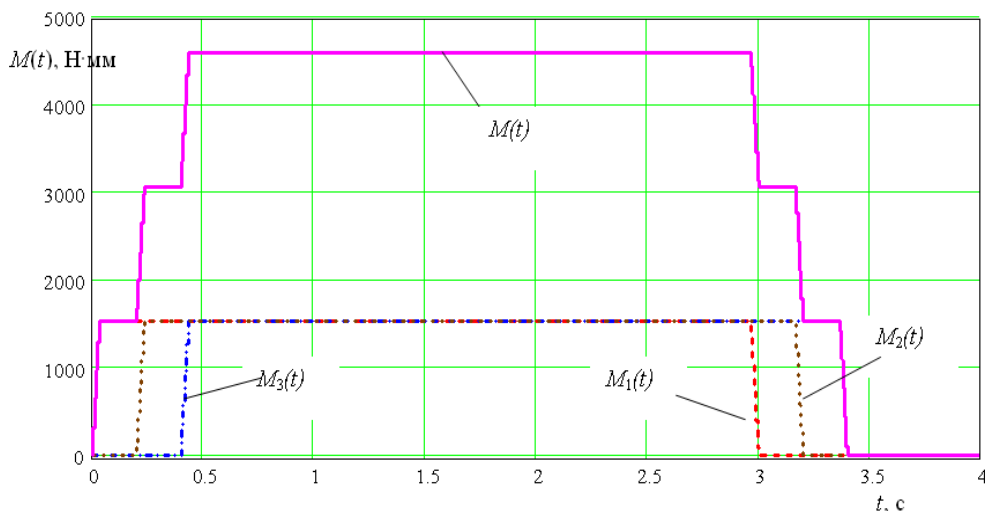


Рис. 7. Графіки зміни моменту різання $M(t)$ та моментів різання на кожному зубі $M_z(t)$ у часі

Складено диференціальні рівняння руху системи для вимушених коливань, застосовуючи рівняння Лагранжа другого роду. Для мас, що здійснюють крутильні коливання:

$$\left. \begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 &= M(t); \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + (\beta_2 + \beta_{12}) \dot{\varphi}_2 + (C_{12} + C_2) \varphi_2 - \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 - C_{12} \cdot \varphi_1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Початкові умови для системи рівнянь записано з наступних міркувань. При нарізанні різьби до моменту зіткнення мітчика із гайкою, від якого і ведемо відлік часу, не відбувається деформації пружних елементів системи. Тому, початкові відносні координати і швидкості приймаємо рівними нулю. Подальша деформація відбувається за рахунок дії зовнішніх сил. Отже, для $t = 0$ маємо: $\varphi_1(0) = 0$, $\varphi_2(0) = 0$, $\dot{\varphi}_1(0) = 0$, $\dot{\varphi}_2(0) = 0$.

Розв'язок системи нелінійних диференціальних рівнянь (8) з нульовими початковими умовами доцільно провести на комп'ютері із застосуванням стандартної підпрограми чисельного методу Рунге-Кутта.

Величину деформації в місці з'єднання мітчика із хвостовиком визначаємо з формули $\psi_1 = \varphi_1 - \varphi_2$. За результатами досліджень представлено графічні залежності зміни кута деформації мітчика в часі (рис. 8), кута деформації мітчика відносно хвостовика в часі (рис. 9), швидкості деформації мітчика в часі (рис. 10) та динамічного моменту деформації мітчика в часі (рис. 11) під час нарізання різьби M10.

Для перевірки адекватності запропонованої системи диференціальних рівнянь усі їх складові визначалися експериментально. Із представлених графічних залежностей видно, що кут деформації мітчика в часі спочатку зростає при поступовому врізанні зубів до 0,2 град, потім стабілізується при одночасній роботі усіх зубів на відмітці 0,175 град, а потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході зубів із нарізаної різьби.

φ_1 , град

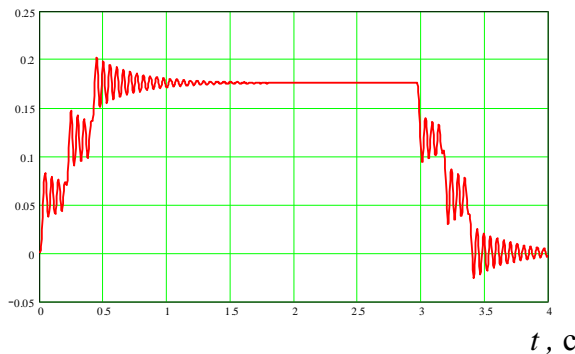


Рис. 8. Графік зміни кута деформації мітчика в часі

ψ_1 , град

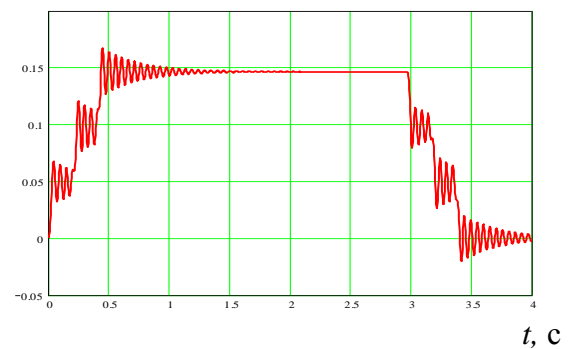


Рис. 9. Графік зміни кута деформації мітчика відносно хвостовика в часі

$\dot{\varphi}_1$, град/с

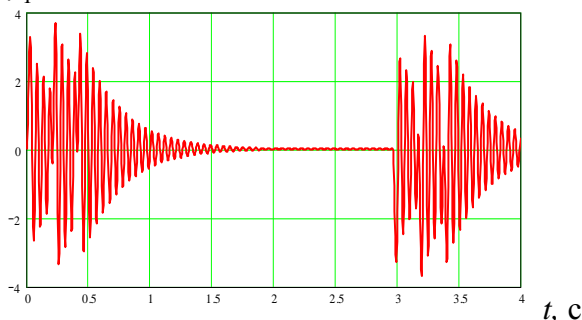


Рис. 10. Графік зміни швидкості деформації мітчика в часі

M_d , Н·мм

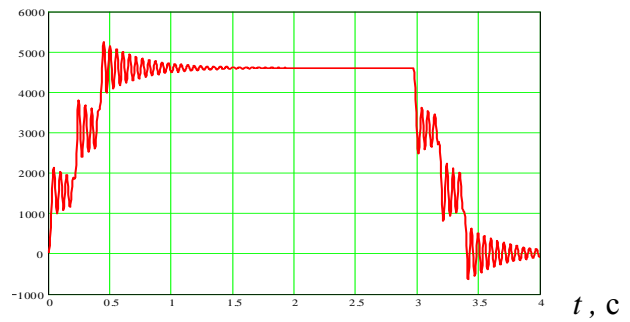


Рис. 11. Графік зміни динамічного моменту деформації мітчика в часі

В третьому розділі наведено програму і методика проведення експериментальних досліджень, опис лабораторного устаткування, результати експериментів та їх аналіз.

Програма проведення експериментальних досліджень передбачала: розроблення емпіричних рівнянь регресії, які функціонально характеризують і описують зміну сили різання та стійкості інструмента залежно від технологічних і конструктивних параметрів; визначення показників технологічної ефективності використання удосконаленого інструмента.

Методика експериментальних досліджень комбінованих інструментів свердл-мітчиків базувалися на основі загальних положень планування, проведення, обробки експериментального масиву та аналізу одержаних результатів, планованих факторних експериментів із використанням прикладних програм для комп'ютера.

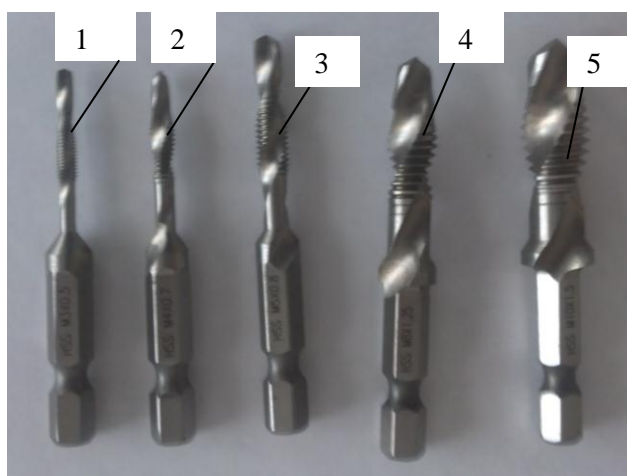


Рис. 12. Набір експериментальних зразків комбінованих інструментів свердл-мітчиків типорозмірів $\varnothing 3-10$ мм:

- 1) M3x0,5; 2) M4x0,7; 3) M5x0,8;
- 4) M8x1,25; 5) M10x1,5

Для експериментального дослідження комбінованих інструментів свердл-мітчиків (рис.12) використовували розроблений макетний зразок експериментальної установки (рис. 13). Проведено дослідження технологічного процесу нарізання різьби в корпусних тонкостінних деталях на базі вертикально-свердлильного верстату з експериментальними зразками комбінованих інструментів свердл-мітчиків типорозмірів $\varnothing 3-10$ мм у заготовках із сталі 08кп, сталі 20, сталі 45 та кольорових сплавів. Дослідження стійкості свердла-мітчика M8x1,25 проведено на вертикально-свердлильному верстаті моделі МН18Н-45. Матеріал –

листовий прокат товщиною 8 мм.

Для керування частотою обертання хвостовика 1 (рис. 13) та комбінованих інструментів свердл-мітчиків 7 використовували стандартне ліцензоване програмне забезпечення Power Suite V2.3.0, яке призначене для регулювання керуючого пристрою 8 Altivar 71 та узгодження його перетворювачів частоти, пристроїв пуску системи Altistart 48, сервоприводів Lexion і інтелектуальних пускачів, зчитування даних з керуючого пристрою, виведення їх на монітор комп'ютера 9 у вигляді числових значень, або графічних побудов.

Для отримання емпіричних рівнянь регресії, що характеризують зміну сили різання та стійкості інструмента від параметрів процесу, реалізували планований трьохфакторний експеримент типу ПФЕ 3^3 . При цьому під час реалізації експерименту ПФЕ 3^3 застосовували некомпозиційну план- матрицю Бокса-Бенкіна. Результати кодування факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 1.

Режими різання і кодові позначення при дослідженні стійкості інструмента

Рівень	Режими дослідження			Кодові позначення		
	v , м/хв	s_z , мм/зуб	HB	x_1	x_2	x_3
Верхній	8	0,38	193	1	1	1
Середній	5	0,25	159	0	0	0
Нижній	3	0,18	126	-1	-1	-1



Рис. 13. Загальний вигляд експериментальної установки : 1 – хвостовик; 2 – верхня кришка; 3 – демфуючі пружини; 4 – основа; 5 – кульки; 6 – патрон; 7 – свердло-мітчик; 8 – керуючий пристрій Altivar 71; 9 – комп’ютер; 10 – комутаційне з’єднання

Отримані експериментальні значення стійкості інструмента T та сили різання P для граничних значень відповідних точок композиційного плану трьохфакторного експерименту типу ПФЕ 3^3 заносили у відповідні графи рандомізованої план-матриці. Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки даних для отримання емпіричних моделей $Tf_{(T)}(v; s_z; HB)$ і $Pf_{(P)}(n; d; v)$ де n – частота обертання свердла-мітчика, об/хв, та d – діаметр свердла-мітчика, м, з використанням методик кореляційного і регресійного аналізу, які характеризують вплив факторів і їх взаємодію на зміну сили різання P та стійкості інструмента T .

Наведено результати лабораторних і порівняльних досліджень згідно з прийнятою програмою. Послідовність проведення експериментів із визначення сили різання $Pf_{(P)}(n; d; v)$ та стійкості інструмента $Tf_{(T)}(v; s_z; HB)$ при виході із зони свердління в зону нарізання різі, встановлювали, відповідно, згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці експерименту типу ПФЕ 3^3 і некомпозиційної план-матриці Бокса-Бенкіна, а характеристику визначених змінних факторів і значення їх рівнів варіювання – згідно з результатами проведених теоретичних досліджень. Після перевірки адекватності апроксимуючої моделі і оцінки значущості коефіцієнтів рівняння регресії згідно з критерієм Фішера та Ст’юдента, одержано рівняння регресії у вигляді функції $P = f_{(P)}(n; d; v)$, яка описує характер зміни сили різання інструмента

(рис. 14) у таких межах зміни вхідних факторів: частоти обертання інструмента $108 \leq n \leq 216$ об/хв; діаметра свердла-мітчика $0,0042 \leq d \leq 0,007$ м (для дюймової та метричної різі); швидкості різання $3 \leq v \leq 8$ м/хв

$$P(n, d, v) = 224,35 - 1,26n - 7,9v + 0,0024n^2 - 0,0298nd + 0,0299dv + 1,0071d^2. \quad (9)$$

У заданих межах варіювання змінними факторами зміна сили різання P , визначена експериментальним шляхом, знаходиться в діапазоні від 47,65 Н до 133,42 Н, (рис. 14), із збільшенням діаметра сердла-мітчика від 0,0042 до 0,007 м сила різання P збільшується в середньому на 53...100 Н (рис. 14а,б), а із збільшенням частоти обертання інструмента n від 108 до 216 об/хв сила різання P зменшується. Приріст сили різання P в межах зменшення діаметра сердла-мітчика d від 0,0042 до 0,007 м та при збільшенні швидкості v від 3 до 8 м/хв досягає 57,1 Н (рис. 14б, в).

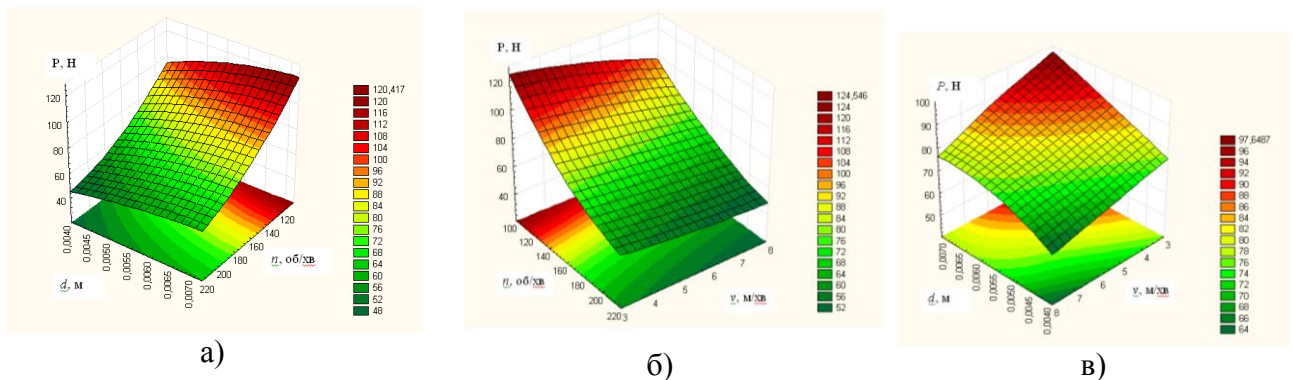


Рис. 14. Поверхня відгуку зміни сили різання P як функціонал:

а) $P = f_{(P)}(n; d)$; б) $P = f_{(P)}(n; v)$; в) $P = f_{(P)}(d, v)$

На основі графо-аналітичного аналізу побудованої діаграми зміни сили різання в часі встановлено, що характер функціональної зміни зменшення проходить внаслідок виходу свердла із зони різання і входу шийки мітчика в зону нарізання різьби (рис. 15).

Для визначення стійкості інструменту «свердло-мітчик» використовуємо математичну модель зміни стійкості. Після статистичного аналізу результатів серії експериментів №1, коли виявилися значні інтервали стійкості для 95% достовірності, були виконані ще шість дослідів серії №2 досліджень.

В результаті всіх дослідів відповідно до вище наведених розрахунків отримано уточнені коефіцієнти для визначення стійкості свердла-мітчика

$$T = \frac{e^{14,85}}{v^{0,42} s_z^{0,58} HB^{2,51}} \quad (10)$$

Аналіз показує, що результат обчислення мало відрізняється від результату, отриманого, але 95-процентні довірчі інтервали значно покращилися завдяки більшій кількості дослідів. Діаграма зміни стійкості від твердості оброблювального матеріалу зображена на рис. 16.

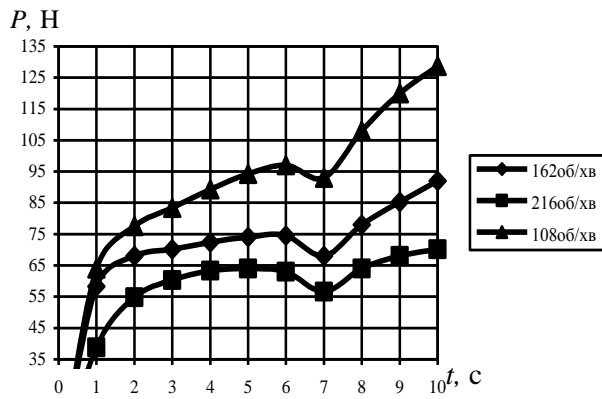


Рис. 15. Залежність зміни величини сили різання в часі при свердлінні та нарізанні різьби (1–6 сек – свердління; 7–10 сек нарізання різьби)

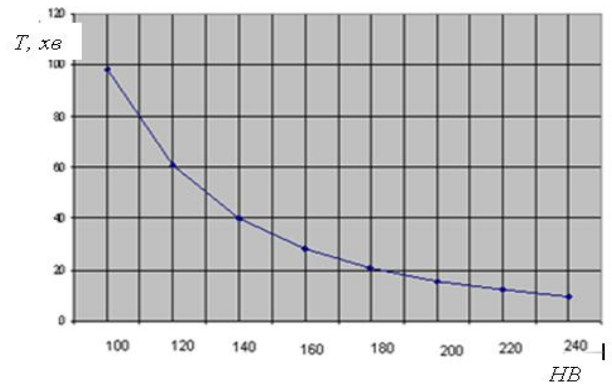


Рис. 16. Діаграма зміни стійкості мітчика від твердості оброблювального матеріалу

В четвертому розділі представлено рекомендації щодо проектування технологічного оснащення для формування різьбових поверхонь. Наведено інженерну методику та технологічні характеристики конструктивних параметрів устаткування для нарізання різьби.

Річний економічний ефект при заміні базового варіанту оброблення поопераційно усієї партії виробів на розроблений становитиме 74147,4 грн., а при заміні базового варіанту оброблення подетально усієї партії виробів - 46699,2 грн. Результати роботи впроваджено на ТозВ «Універст ЛТД» (м. Тернопіль) та ТДВ «Рівненське ремонтно-транспортне підприємство». Технічну новизну розроблень захищено 6 деклараційними патентами України на корисні моделі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми розроблення і практичної реалізації технологічного процесу свердління отворів під різьбові поверхні і нарізання різьби в корпусних деталях, обґрунтовано параметри технологічного спорядження, яке забезпечує автоматичну зміну подач при виході інструментів з отвору з метою їх захисту від поломки, а також підвищення ефективності і якості обробки, експлуатаційної надійності свердл і мітчиків.

2. Наведено реалізацію ієрархічного морфологічного аналізу і синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів. Розроблена методика синтезу з розподілом конструктивних ознак елементів системи на ієрархічні групи та підгрупи при врахуванні суттєвості їх впливу на досягнення заданих критеріїв оцінювання оснащення для оброблення різьбових отворів, що дозволила зменшити кількість варіантів синтезованих альтернатив у порівнянні з класичною моделлю, що забезпечує покращені експлуатаційні характеристики. В наслідок синтезу верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів різьбонарізних інструментів для внутрішніх отворів, які захищені патентами України.

3. Процес свердління отворів під різьбу характеризується відхиленням осі симетрії двох головних ріжучих кромки від вісі шпинделя, що виникає через згин свердла під дією неврівноважених поперечних складових сил різання. Встановлено, що при цьому найбільша неврівноважена радіальна сила $\Delta P_y = 43 \text{ Н}$ зумовлена різницею глибин різання двох протилежних кромки $\Delta t = 2,7 \text{ мм}$ від величини зміщення вісі свердла відносно вісі симетрії втулки $\Delta a = 8 \text{ мм}$ для матеріалу сталь 45.

4. Досліджено технологічний процес нарізання різьби реверсивним пристроєм в корпусних деталях, для запобігання випадків, коли мітчики при виході з отворів корпусних деталей часто ламаються. Розроблена розрахункова схема і виведені аналітичні залежності для визначення граничних силових і конструктивних параметрів взаємодії кульок з площиною лунок при реверсі. Побудовані графічні залежності зміни величини крутного моменту від конструктивних параметрів робочих частин пристрою, встановлено що зміна радіуса розташування та жорсткість пружини прямопропорційно впливає на зростання крутного моменту. Найбільший приріст крутного моменту спостерігається при збільшенні глибини лунки h_x від 70% величини радіуса кульки.

5. Розроблено динамічну модель системи різьбонарізного пристрою в процесі нарізання різьби в отворі, проведено розрахунок та складені диференціальні рівняння руху для вимушених коливань з використанням рівняння Лагранжа другого роду. Представлені графічні залежності зміни кута деформації мітчика, кута деформації мітчика відносно хвостової частини, швидкості деформації мітчика і динамічного моменту деформації мітчика в часі під час нарізання різьби. Встановлено, що кут деформації мітчика в часі спочатку збільшується при врізанні зубів до 0,2 град, після чого стабілізується при одночасній роботі всіх зубів на відмітці 0,175 град., а потім поступово знижується із затухаючими коливаннями до нуля при виході зубів із нарізаної різьби.

6. Наведено методику та експериментальні дослідження верстатно-інструментального оснащення для оброблення різьбових отворів та отримано регресійну залежність із визначенням впливу величини швидкості різання v , подачі на зуб мітчика S_z та твердості матеріалу HB на величину зміни стійкості інструменту T тобто $T = f(v, S_z, HB)$. Факторне поле визначалось таким діапазоном зміни параметрів: $3 \leq v \leq 8$ (м/хв); $0,18 \leq S_z \leq 0,38$ (мм/зуб); $126 \leq HB \leq 193$. Для проведення досліджень використовували листовий прокат товщиною 8мм із сталі 08кп, сталі 20 і сталі 45.

7. Наведено результати експериментальних досліджень із визначення сили різання та одержано рівняння регресії у вигляді функції $P = f_{(p)}(n; d; v)$, яка описує характер зміни сили різання інструмента у таких межах зміни вхідних факторів: частоти обертання свердла-мітчика $108 \leq n \leq 216$ об/хв; діаметра свердла-мітчика $0,0042 \leq d \leq 0,007$ м (для дюймової та метричної різі); швидкість різання $3 \leq v \leq 8$ м/хв. Основний масив апроксимованих значень сили різання знаходиться в діапазоні від 47,65 до 133,42 Н. Із збільшенням

діаметра свердла-мітчика від 0,0042 до 0,007 м сила різання P збільшується в середньому від 53 до 100 Н, а із збільшенням частоти обертання інструмента n від 108 до 216 об/хв сила різання P зменшується. Приріст сили різання P в межах збільшення діаметра свердла-мітчика d від 0,0042 до 0,007 м та при збільшенні швидкості v від 3 до 8 м/хв досягає 57,1 Н.

8. За результатами проведених досліджень проаналізовано нові типи інструментів для оброблення та нарізання різьби в отворах, а також для швидкісного нарізання зовнішньої і внутрішньої різьби в упор. Річний економічний ефект при заміні базового варіанту оброблення поопераційно усієї партії виробів на розроблений становитиме 74147,4 грн., а при заміні базового варіанту оброблення подетально усієї партії виробів - 46699,2 грн. Результати роботи впроваджено на ТозВ «Універст ЛТД» (м. Тернопіль) та ТДВ «Рівненське ремонтно-транспортне підприємство». Технічну новизну захищено 6 деклараційними патентами України на корисні моделі.

ОСНОВНІ ОПУБЛІКОВАНІ ПРАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ **Фахові видання та публікації в закордонних збірниках**

1. Nevko B. The study of the dynamics of a device for screw thread turning / B. Nevko, A. Djachun, N. Marchuk // Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin-Rzeszow, 2016. – Vol. 18, № 1. – P. 87–93. *(Автором виведені залежності силових та динамічних параметрів).*

Публікації у фахових виданнях

2. Гевко Б.М. Обґрунтування параметрів пристроїв для нарізання різі в гайках і деталях машин / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 32. – С. 41–47. *(Автором обґрунтовано параметри пристроїв для нарізання різі в гайках).*

3. Гевко Б.М. Універсальний пристрій для швидкісного нарізання різі / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук, В.П. Казмірчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2017. – Вип. 181. – С. 350–353. *(Автором запропонована конструкція універсального пристрою).*

4. Структурний синтез пристроїв та інструментів для нарізання різі / Б.М. Гевко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук, В.П. Казмірчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 3–10. *(Автором проведений синтез інструментів для нарізання різі та побудована морфологічна таблиця).*

5. Гевко І.Б. Теоретичне обґрунтування режимів подачі свердління при обробленні наскрізних отворів / І.Б. Гевко, В.М. Клендій, Н.М. Марчук // Збірник наукових статей «Сільськогосподарські машини». – Луцьк, 2016. – Вип. 34. – С. 10–18. *(Автором запропоновано застосування зменшення режимів різання при свердлінні).*

6. Технологічне спорядження для виготовлення мітчиків / Б.М. Гевко, Н.М. Марчук, М.Г. Левкович, П.В. Казмірчук // Вісник Житомирського державного технічного університету. – Житомир, 2017. – Вип. 2(80). – С. 39–43. *(Автором обґрунтовані геометричні параметри мітчиків та запропонований контрольний пристрій для заміру середніх діаметрів мітчиків).*

7. Обґрунтування параметрів запобіжних елементів технологічного оснащення для механічного оброблення / В.М. Клендій, В.В. Гупка, М.Д. Радик, Н.М. Марчук, Р.І. Котик // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький, 2017. – Вип. 47. – С. 99–105. *(Автором обґрунтовано параметри запобіжних елементів технологічного оснащення для механічної обробки, що дозволить забезпечити інструменту від поломок та збільшити продуктивність праці).*

8. Клендій В.М. Нове технологічне оснащення для відновлення і виготовлення внутрішніх поверхонь різьбових деталей / В.М. Клендій, І.В. Фльонц, Н.М. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 60–64. *(Автором запропоновано конструкція реверсивного пристрою для нарізання гайок).*

9. Обґрунтування параметрів патрона для нарізання різі / Р.В. Комар, Т.С. Дубиняк, І.С. Яким, Н.М. Марчук // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2016. – Вип. 168. – С. 80–84. *(Автором запропонована конструкція експериментального патрона для нарізання різі).*

10. Марчук Н.М. Технологічність конструкцій різьбових з'єднань деталей машин / Н.М. Марчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування «Технічні науки». – Рівне, 2016. – Вип. 1(73). – С. 203–210.

11. Марчук Н.М. Обґрунтування параметрів оправок для нарізання різі мітчиками в отворах деталей машин / Н.М. Марчук // «Наукові нотатки». – Луцьк, 2017. – Вип. 60. – С. 166–171.

Тези конференцій та семінари

12. Марчук Н.М. Пристрій для нарізання різі в гайках / І.Б. Гевко, Н.М. Марчук, І.В. Колеснік // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: 25–26 листопада 2015р.: тези доп. – Тернопіль, 2015. – Т.1. – С. 114–117. *(Автором приведена конструкція пристрою для нарізання різі в гайках).*

13. Марчук Н.М. Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчастих заготовках / Іг.Б. Гевко, Н.М. Марчук // XIX Наукова конференція Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя: 18–19 травня 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С. 26 – 27. *(Автором запропонована технологічна конструкція пневматичного автоматизованого пристрою для сверління і нарізання різі в трубчастих заготовках)*

14. Марчук Н.М. Головка для нарізання внутрішніх різьб / О.Я. Гурик, Н.М. Марчук // XXI Наукова конференція Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя: 18–19 травня 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – Т.1. – С. 34 – 36. *(Автором обґрунтовано конструкцію різьбонарізної головки).*

15. Марчук Н.М. Патрон для оброблення деталей пальцевими ріжучими інструментами / Н.М.Марчук, В.М. Клендій // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»: 17–18 листопада 2016 р.: тези доп. –

Тернопіль, 2016. – Т.1. – С.270–272. *(Автором запропонований з пальцевим інструментом для оброблення деталей).*

16. Марчук Н.М. Різьбонарізний блок для нарізання різі / Н.М.Марчук // III Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин»: 1–2 грудня 2017 р.: тези доп. – Харків, 2017. – С. 89.

17. Марчук Н.М. Пристрій для нарізання різі в корпусних деталях / Н.М. Марчук // Шістнадцята міжнародна молодіжна науково-технічна конференція. «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво»: 26 – 29 жовтня 2016 р.: тези доп. – Суми, 2016. – С. 44–46.

18. Марчук Н.М. Оправка для розточування отворів і нарізання різі / Н.М. Марчук, Б.М. Гевко, П.В. Казмірчук // Міжнародна науково-технічна конференція «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»: 22–24 травня 2018 р.: тези доп. – Тернопіль, 2018. – С. 89. *(Автором запропонована нова технологічна конструкція оправки для розточування отворів і нарізання різей).*

Патенти України на корисні моделі

19. Пат. 106937 Україна, МПК В23В 51/00, В23G 5/00. Комбіноване свердло-мітчик / Марчук Н.М.; заявник і патентоотримувач Марчук Н.М - №u201511743; заявл. 27.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.

20. Пат. 107031 Україна, МПК В23В 31/00, F16L 15/00. Реверсивний патрон для нарізання різі / Гевко Б.М., Марчук Н.М, Гудь В.З., Навроцька Т.Д.; заявники і патентоотримувачі: Гевко Б.М., Марчук Н.М, Гудь В.З., Навроцька Т.Д. - №u201503993; заявл. 27.04.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. *(Частка всіх авторів однакова).*

21. Пат. 107215 Україна, МПК В23G 5/06 (2006.01), В23В 49/02. Мітчик – протяжка / Гевко Б.М., Марчук Н.М.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Марчук Н.М. - №u201511741; заявл. 27.11.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. *(Частка всіх авторів однакова).*

22. Пат. 107909 Україна, МПК В23G 5/00, В23В 49/02. Головка для нарізання внутрішніх різей / Гевко Б.М.; Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д. - №u201512856; заявл. 25.12.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. *(Частка всіх авторів однакова).*

23. Пат. 124001 Україна, МПК F16B 33/00. Безканавочний мітчик / Гевко Б.М., Клендій В.М., Марчук Н.М., Котик Р.М., Когут І.Р.; заявники і патентоотримувачі Гевко Б.М., Клендій В.М., Марчук Н.М., Котик Р.М., Когут І.Р. - №u201711030; заявл. 13.11.2017; опубл. 12.03.18, Бюл. № 5. *(Частка всіх авторів однакова).*

24. Пат. 124231 Україна, МПК В23В 49/02 (2006.01), В23В 49/04 (2006.01), В23В 31/171 (2006.01). Пневматичний автоматизований пристрій для свердління і нарізання різі в трубчатих заготовках / Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д., Казмірчук П.В., Гевко І.Б.; заявники і патентоотримувачі Марчук М.М., Марчук Н.М., Навроцька Т.Д., Казмірчук П.В., Гевко І.Б. - №u201711045; заявл. 13.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6. *(Частка всіх авторів однакова).*

АНОТАЦІЯ

Марчук Н.М. Обґрунтування параметрів та синтез інструментів для оброблення різьбових отворів. – 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, 2018.

Дисертаційна робота присвячена теоретичним і експериментальним дослідженням обробки отворів, розробленню технологічного оснащення та ріжучих інструментів для нарізання різі і захисту інструментів від поломки.

В дисертації розроблено структурний синтез інструментів для оброблення отворів. Розроблені теоретичні передумови для свердління отворів і виведено аналітичні залежності для визначення силових характеристик і конструктивних параметрів обох лез інструмента.

Розроблено багатоваріативну структуру конструктивних і функціональних можливостей реалізації процесів свердління та нарізання різьби, а також захисту інструментів від поломки для синтезу необхідного технологічного оснащення різальних інструментів, яке вдосконалюється з використанням трьох ієрархічних рівнів. Для дослідження спроектовано спеціальне технологічне оснащення і ріжучий інструмент.

Результатом теоретичних та експериментальних досліджень є впровадження у виробництво.

Ключеві слова: технологічне оснащення, інструмент, свердло, мітчики, різьби, синтез, верстат, якість оброблення.

АННОТАЦИЯ

Марчук Н.М. Обоснование параметров и синтез инструментов для обработки резьбовых отверстий. - 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, 2018.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям обработки отверстий, разработке технологической оснастки и режущих инструментов для нарезания резьбы и защиты инструментов от поломки.

В диссертации разработан структурный синтез инструментов для обработки отверстий. Разработанные теоретические предпосылки для сверления отверстий и выведено аналитические зависимости для определения силовых характеристик и конструктивных параметров обоих лезвий инструмента.

Разработано многовариативную структуру конструктивных и функциональных возможностей реализации процессов сверления и нарезания резьбы, а также защиты инструментов от поломки для синтеза необходимого

технологического оснащения режущих инструментов, которое совершенствуется с использованием трех иерархических уровней. Для исследования спроектировано специальное технологическое оснащение и режущий инструмент.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в производство.

Ключевые слова: технологическая оснастка, инструмент, сверло, метчики, резьбы, синтез, станок, качество обработки.

ANNOTATION

Marchuk N.M. Justification of parameters and synthesis of tools for machining threaded holes. - The qualification scientific work on the manuscript copyright.

Thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.03.01 " Machining processes, machine-tools and tools". - Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2018.

The dissertation is devoted to the theoretical and experimental research of the hole processing, developed technological equipment and cutting tools for cutting rivets and tools protection against breakage.

The wide use of threaded joints in mechanical engineering is due to their simplicity, high carrying capacity, operational reliability and durability, as well as the convenience of connecting and detaching parts. The use of threaded joints is also facilitated by the availability of a significant range of special threaded parts adapted to the various constructional variants of the joints, their wide standardization, and the low cost of manufacturing, especially in mass production. Limitations in the use of threaded joints are due to the presence of a significant amount of stress concentrators on their surfaces, reducing their fatigue strength under the influence of variable stresses.

In the dissertation the structural synthesis of tools for processing of holes is developed.

The theoretical prerequisites for drilling holes and deriving analytical dependencies for determining the power characteristics and structural parameters of both blades of the tool were developed.

The progressive designs of devices and cutting tools for threads were given. The modes of cutting of high-speed technological process were presented.

A variational structure of constructive and functional possibilities for the implementation of drilling and cutting processes, as well as tool protection against breakage and synthesis of the necessary technological equipment for cutting tools, has been developed, which is improved using three hierarchical levels. For the research, special technological equipment and cutting tools have been designed.

A differential equation of motion of the system for forced oscillations of Lagrange of the second kind is compiled. The solution of a system of nonlinear differential equations with initial conditions on a computer using a standard subroutine of the Runge-Kutta numerical method. Based on the results of the studies, graphical dependencies of the change in the angle of the tap deformation in time and the dynamic strain moment were presented.

The dynamic model of the thread cutting process in nuts by taps with a curved shank was developed for the first time, the differential equation of motion of the system for forced vibrations was derived and graphical dependences were constructed to determine the dynamic moments during their operation.

The results of theoretical and experimental research are used in production. For the first time, the technological process of thread cutting by a reversing device in thin-walled machine parts has been investigated, analytical dependencies for determining the limiting power and design parameters have been derived.

New designs of tools for machining of threaded holes of thin-walled machine components were developed, depending on their design and power parameters. The bench equipment has been developed and experimental tools for threaded holes have been made, as well as research methods for determining the energy-strength parameters of the drilling and cutting process, depending on the operation modes. The methodology and application software for the design and selection of the technological system "Thread-cutting tool for hole machining", taking into account technical and economic parameters, was proposed.

The technical novelty of developments is protected by 6 patents of Ukraine on utility models.

Keywords: technological equipment, tool, drill, taps, threads, synthesis, machine-tool, quality of processing.