

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**ЧЕРКАЗНИЙ ВІТАЛІЙ ЮРІЙОВИЧ**

**УДК 621.95.04 : 621.953**

**Забезпечення якості оброблення отворів у композиційних матеріалах  
методом «орбітального» свердління**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
магістр**

**Київ – 2015**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П. Р. Родіна Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Пасічник Віталій Анатолійович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, завідувач кафедри інтегрованих технологій  
машинобудування імені П.Р. Родіна

**Рецензенти** кандидат технічних наук, доцент  
**Кореньков Володимир Миколайович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, заступник завідувача кафедри технологій  
машинобудування з методичної роботи

доктор технічних наук, професор  
**Зенкін Микола Анатолійович**  
Київський національний університет технологій та  
дизайну, завідувач кафедри метрології,  
стандартизації та сертифікації

**Консультант з  
охорони праці та  
техніки безпеки** кандидат технічних наук, старший викладач  
**Лук'яненко Анна Олегівна**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, старший викладач кафедри охорони праці,  
промислової та цивільної безпеки

Захист відбудеться 16 червня 2015 року об 10 годині на засіданні ДЕК кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к.615-22

З дисертацією можна ознайомитись на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к.611

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність досліджень**

На сьогодні в сучасному промисловому виробництві знаходять застосування композиційні матеріали. Вони знаходять широке використання в таких областях промисловості, як космічна техніка, авіа-, судно-, автомобілебудуванні та інше. Використання композиційних матеріалів в сучасних конструкціях дає суттєвий виграв в масі, міцності, довговічності, стійкості до корозії та агресивних хімічних середовищ. Ці матеріали слугують прекрасними заміниками металів. Вироби з композиційних матеріалів намагаються виготовляти одразу необхідної форми та конфігурації. Але все ж таки повністю обійтися без механічної обробки наразі неможливо. Однією з основних операцій механічного оброблення композитів є обробка отворів, які слугують для болтових та заклепкових з'єднань.

Під час механічного оброблення отворів, через шарувату структуру композитів та їх властивостей, виникають багато дефектів обробки, таких як шорсткість, деструкція, нерозрізані волокна та пластик, які можуть бути ліквідовані наступною чистою обробкою, такою як розвертання, обробкою абразивним інструментом, але існують такі дефекти, наприклад розшарування, які в подальшому ліквідувати неможливо.

Для зменшення та ліквідації даних дефектів необхідно розробляти нові конструкції різального інструменту або новітні методи оброблення.

**Мета і задачі дослідження:** забезпечення якості механічного оброблення отворів в деталях з композиційних матеріалах за рахунок удосконалення методів оброблення, різального інструменту та спеціалізованого оснащення.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі **задачі:**

1. Провести аналіз та систематизацію існуючих методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах.
2. Провести аналіз та систематизацію існуючих технічних рішень у напрямі автоматичного оброблення отворів.
3. На основі проведеного аналізу методів механічного оброблення отворів удосконалити один із найкращих існуючих методів.
4. Розробити конструкцію різального інструменту та спеціального оснащення, які забезпечить реалізацію удосконаленого методу.

**Об'єкт дослідження** – механічне оброблення отворів у композиційних матеріалах.

**Предмет дослідження** – удосконалення методів механічного оброблення отворів у композиційних матеріалах задля забезпечення якості.

### **Методи дослідження.**

Виконані дослідження базуються на методах систематизації та класифікації, методи нарисної геометрії, теоретичної механіки, теорії механізмів та машин, деталей машин, тривимірного комп'ютерного проектування.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

На базі аналізу методів механічного оброблення отворів у композиційних матеріалах розроблений новий метод “прецесійного” свердління, суть якого полягає у забезпеченні кращих умов взаємодії інструменту та заготовки в порівнянні з «орбітальним» свердлінням, а також більшими можливостями регулювання процесу. Суть нової кінематичної схеми процесу “прецесійного” свердління полягає в узгодженій сукупності трьох рухів: обертання різального інструменту навколо власної осі, яка розташована під кутом до осі отвору; прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору; осьової подачі.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Для забезпечення реалізації методу “прецесійного” свердління сформульовано вимоги до різального інструменту – фрези, розроблено його конструкцію, розраховані основні конструктивні та геометричні параметри, розроблено технологію виготовлення такого інструменту.

Для реалізації кінематики процесу “прецесійного” свердління розроблено оригінальний пристрій, який реалізує два основних рухи процесу: обертання різального інструменту навколо власної осі та прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору.

**Публікації та доповіді на конференціях.** По темі магістерської дисертації опубліковано 1 стаття у фаховому виданні та 2 тези доповідей.

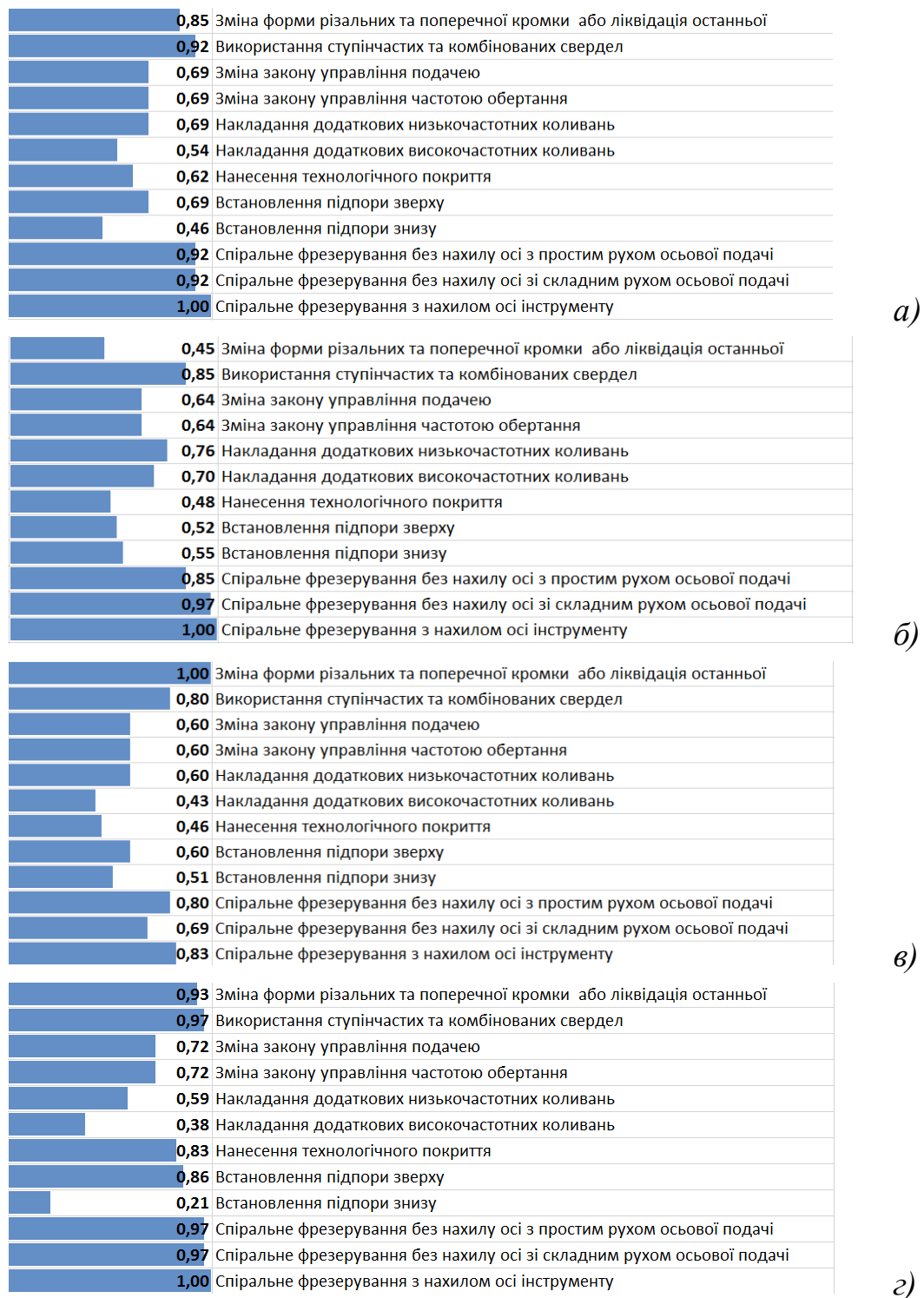
**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 57 найменувань, 3 додатків. Основний текст дисертації викладено на 94 стор. Повний обсяг становить 160 стр.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об’єкт, предмет дослідження і задачі, які автор розв’язує у роботі.

У першому розділі проведений аналіз вимог до оброблюваних отворів, особливостей механічного оброблення композиційних матеріалів та аналіз пошкоджень, які при цьому виникають. Проведений літературний огляд існуючих методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах та створена система їх аналізу та вибору найбільш пристосованого методу до вибраної ситуації.

Для експрес-оцінювання варіантів рішень у Microsoft Excel створена система, яка дозволяє користувачеві на початковому етапі визначити цінність груп параметрів: група параметрів якості; група параметрів продуктивності й економічності; група параметрів технологічних можливостей. Далі здійснюється автоматичний перерахунок значень вагових коефіцієнтів всіх параметрів оцінювання. На останньому етапі здійснюється автоматичний перерахунок рейтингу кожного напрямку удосконалення, який представляється числом, де значенню «1» відповідає один чи кілька найкращих варіантів. Автоматично будується графік оцінювання. Залежно від обраного пріоритету показників, рекомендовані варіанти можуть різнитися.



*Рисунок 1 – Оцінка перспективності різних варіантів для умов  
а) рівна цінність груп, б) цінність 1 групи,  
в) цінність 2 групи, г) цінність 3 групи*

Як видно з рисунків, що рекомендовані результати можуть доволі сильно різнитися. Так варіант зміни форми різальних та поперечних кромки є найкращим для пріоритету економічності та продуктивності процесу, проте він програє для випадку пріоритету якості оброблення. Можна також звернути увагу на суттєві перспективи методів спірального фрезерування, які у більшості випадків є лідерами.

У **другому розділі** проведений літературний огляд існуючих технічних рішень для механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах та створена система їх класифікації, на основі якої зроблені висновки про їх перспективи та застосування.

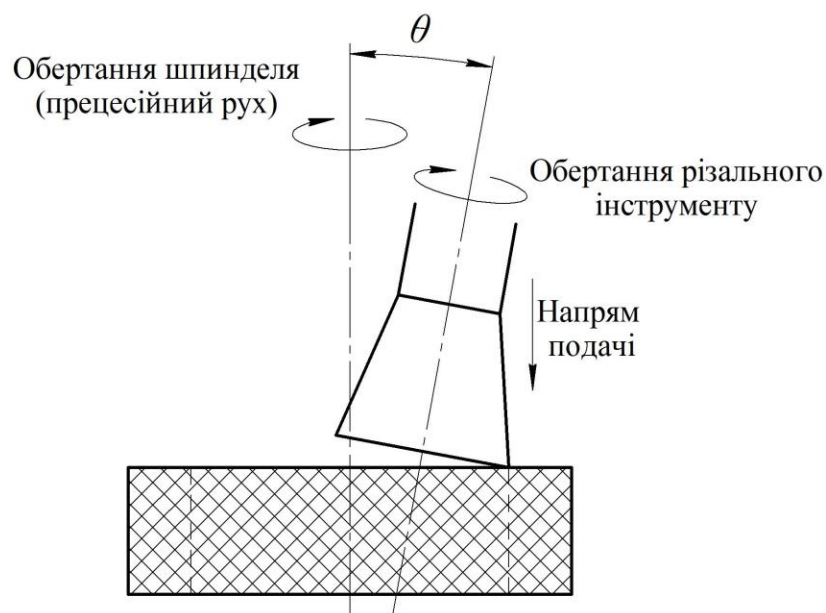
На основі аналізу були виділені основні групи технічних рішень для механічного оброблення отворів: ручні пристрої; пристрої, які використовують маніпулятор; пристрої, які обслуговують лише певну зону; пристрої з паралельною кінематикою; пристрої з гібридною кінематикою; пристрої, що охоплюють оброблювану деталь; пристрої, які переміщуються по напрямним рельсам; пристрої, які переміщуються по типу крокуючого робота; насадні пристрої.

Таблиця 1 – Параметри для класифікації технічних рішень

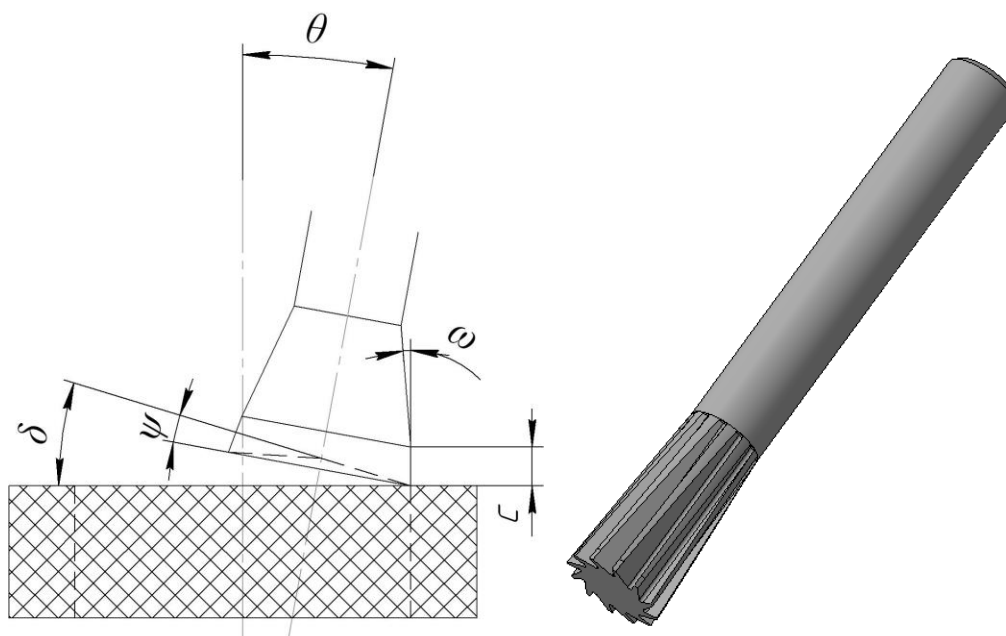
Параметр	Підпараметр	Позначення	Розшифрування
Метод оброблення	Свердління	D	Drilling
	Орбігальне свердління	E	Eccentricity orbital drilling
	Похилене планетарне свердління	T	Tilted Planetary Drilling
	Гіроскопічне свердління шліфувальним кругом	W	Gyro drilling grinding wheel
	Прецесійне свердління	P	Precession drilling
Ступінь автоматизації	Ручні	H	Hand
	Напівавтоматичні	S	Semi-automatic
	Автоматичні	A	Automatic
Ступінь мобільності	Стационарні	F	Fixed
	Робот-маніпулятор	R	Robot
	Мобільні (рухомі)	M	Mobile
Робоча система координат	Ортогональна	O	Orthogonal
	Циліндрична	C	Cylindrical
	Сферична	B	Ball
Система кріплення	Вакуумні присоски	V	Vacuum suction cups
	Напрямні рейки	G	Guide rail
	Затискний пристрій	J	Jig
	Нерухома основа	I	Immobile base

У **третьому розділі** запропонована нова схема “прецесійного” свердління (рис. 2) із забезпеченням кращих умов взаємодії інструменту та заготовки, а також більшими можливостями регулювання процесу. Представлена кінематична схема процесу “прецесійного” свердління, суть якого полягає у сукупності трьох рухів: обертання різального інструменту навколо власної осі, яка розташована під кутом до осі отвору; прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору; осьової подачі.

Для реалізації процесу “прецесійного” свердління розроблено конструкцію фрези (рис. 3), розраховані її основні конструктивні та геометричні параметри, створено технологію виготовлення такого інструменту.

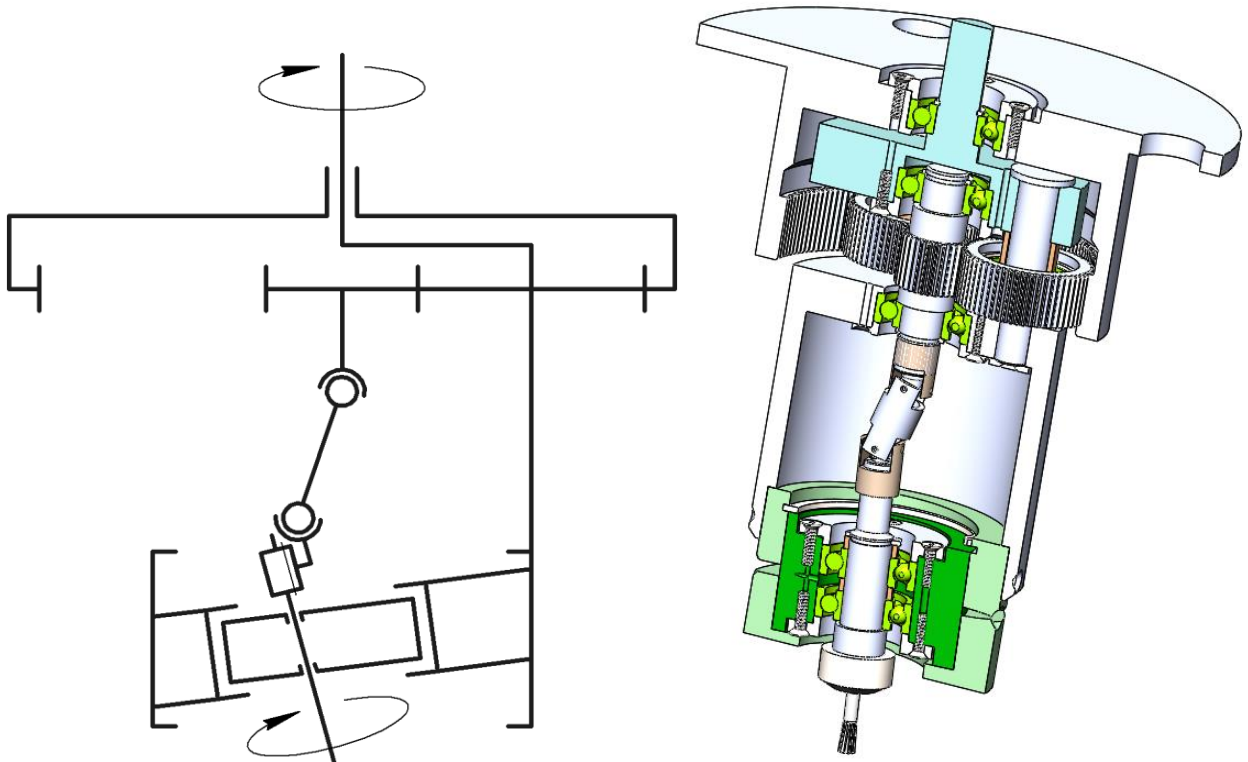


*Рисунок 2 – Схема методу прецесійного свердління*



*Рисунок 3 – Геометричні параметри та 3D модель різального інструменту*

Для реалізації кінематики процесу “прецесійного” свердління розроблено новий оригінальний пристрій (рис. 4), який кріпиться до шпинделя свердлильного верстату та реалізує два основних рухи процесу: обертання різального інструменту навколо власної осі та прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору. Пристрій включає планетарний механізм, карданну передачу або гнучкий елемент та головку регулювання кута нахилу осі різального інструменту від  $0^\circ$  до  $3^\circ$ .



*Рисунок 4 – Схема та 3D модель пристрою для реалізації “прецесійного” свердління*

У четвертому розділі приведена методика виявлення та аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, діючих при роботі в робочому приміщенні розглянуті загальні вимоги щодо використання комп’ютерів в приміщеннях. Розроблені рекомендації для збереження здоров’я оператора ПК, наведені можливі фактори ураження та методи запобігання їм. Розроблені заходи щодо зниження можливої дії шкідливих і усуненню небезпечних чинників при роботі за ПК. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення, мікроклімату, тощо.

## **ВИСНОВКИ**

1. На основі розгляду та аналізу методів механічного оброблення отворів у композиційних матеріалах та розроблена нова система їх якісного оцінювання. В результаті її застосування виявлені суттєві перспективи методу «орбітального» свердління, які полягають у забезпеченні високих показників якості та точності оброблених отворів, гнучкістю кінематики процесу, що дозволяє одним інструментом оброблювати діапазон діаметрів отворів.
2. Розглянуті та проаналізовані технічні рішення в галузі механічного оброблення отворів у композиційних матеріалах та розроблена нова система їх класифікації. Така система дозволила виявити пріоритетні напрями їх застосування й перспективи їх удосконалення.
3. На базі удосконалення методу “орбітального” свердління запропонована нова схема “прецесійного” свердління із забезпеченням кращих умов взаємодії інструменту та заготовки, а також більшими можливостями регулювання процесу. Суть кінематики процесу “прецесійного” свердління



полягає у сукупності трьох рухів: обертання різального інструменту навколо власної осі, яка розташована під кутом до осі отвору; прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору; осьової подачі.

4. Для забезпечення реалізації процесу “прецесійного” свердління розроблено конструкцію фрези, розраховані її основні конструктивні та геометричні параметри, створено технологію виготовлення такого інструменту.
5. Для забезпечення реалізації кінематики процесу “прецесійного” свердління розроблено оригінальний пристрій, який кріпиться до шпинделя свердлильного верстату та реалізує два основних рухи процесу: обертання різального інструменту навколо власної осі та прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору. Пристрій включає планетарний механізм, карданну передачу або гнучкий елемент та головку регулювання кута нахилу осі різального інструменту від  $0^\circ$  до  $3^\circ$ .

### **СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ**

1. Пасічник В.А., Черказний В.Ю. Систематизація та аналіз методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах // Вісник НТУУ «КПІ», Машинобудування, №73.-2015., С. 29-37.
2. Пасічник В.А., Черказний В.Ю. Систематизація та аналіз методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах // Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Інтегровані технології машинобудування". – К: НТУУ "КПІ", 2014. – с. 104-106.
3. Пасічник В.А., Черказний В.Ю. Аналіз, систематизація та класифікація технічних рішень для механічного оброблення отворів // Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Інтегровані технології машинобудування". – К: НТУУ "КПІ", 2014. – с. 107-108.

## АНОТАЦІЯ

**Черказний В.Ю. Забезпечення якості оброблення отворів у композиційних матеріалах методом «орбітального» свердління**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут. – Київ, 2015

Проведений аналіз вимог до оброблюваних отворів, особливостей механічного оброблення композиційних матеріалів та аналіз пошкоджень, які при цьому виникають. Проведений літературний огляд існуючих методів механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах та створена система їх аналізу та вибору найбільш пристосованого методу до вибраної ситуації.

Проведений літературний огляд існуючих технічних рішень для механічного оброблення отворів в композиційних матеріалах та створена система їх класифікації, на основі якої зроблені висновки про їх перспективи та застосування.

На базі удосконалення методу “орбітального” свердління запропонована нова схема “прецесійного” свердління із забезпеченням кращих умов взаємодії інструменту та заготовки, а також більшими можливостями регулювання процесу. Представлена кінематична схема процесу “прецесійного” свердління.

Для реалізації процесу “прецесійного” свердління розроблено конструкцію фрези, розраховані її основні конструктивні та геометричні параметри, створено технологію виготовлення такого інструменту.

Для реалізації кінематики процесу “прецесійного” свердління розроблено оригінальний пристрій, який кріпиться до шпинделя свердлильного верстату та реалізує два основних рухи процесу: обертання різального інструменту навколо власної осі та прецесійного руху осі різального інструменту навколо осі оброблюваного отвору.

**Ключові слова:** композиційні матеріали, механічне оброблення, свердління, «орбітальне» свердління, планетарне свердління, прецесійне свердління, різальний інструмент.

## АННОТАЦИЯ

**Черказный В.Ю. Обеспечение качества обработки отверстий в композиционных материалах методом «орбитального» сверления**

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 – инструментальное производство. – Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт. – Киев, 2015

Проведен анализ требований к обрабатываемых отверстий, особенностей механической обработки композиционных материалов и анализ повреждений, которые при этом возникают. Проведен литературный обзор существующих методов механической обработки отверстий в композиционных материалах и создана система их анализа и выбора наиболее приспособленного метода к выбранной ситуации.

Проведен литературный обзор существующих технических решений для механической обработки отверстий в композиционных материалах и создана

система их классификации, на основе которой сделаны выводы об их перспективах и применения.

На базе усовершенствования метода "орбитального" сверления предложена новая схема "прецессионного" сверления с обеспечением лучших условий взаимодействия инструмента и заготовки, а также большими возможностями регулирования процесса. Представленная кинематическая схема процесса "прецессионного" сверления.

Для реализации процесса "прецессионного" сверления разработана конструкция фрезы, рассчитаны ее основные конструктивные и геометрические параметры, создана технология изготовления такого инструмента.

Для реализации кинематики процесса "прецессионного" сверления разработан оригинальный устройство, которое крепится к шпинделя сверлильного станка и реализует два основных движения процесса: вращение инструмента вокруг собственной оси и прецессионного движения оси инструмента вокруг оси обрабатываемого отверстия.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, механическая обработка, сверление, «орбитальное» сверления, планетарное сверления, прецессионного сверления, режущий инструмент.

## ABSTRACT

### **Vitalii Cherkaznyi. Ensuring quality of machining holes in composite materials by the "orbital" drilling**

MSc thesis by specialty 8.05050302 – Tool Production. – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. – Kyiv, 2015

The analysis requirements for processed holes, features machining composite materials and analysis of damage that thus arise. Conducted literature review of existing methods for machining holes in composite materials and a system of analysis and selection of the fittest method to a selected situation.

Conducted literature review of existing technical solutions for machining holes in composite materials and a system of classification, based on which conclusions about their perspectives and applications.

On the basis of improving the method of "orbital" drilling proposed a new scheme of "precession" rotation with providing better conditions interaction tool and workpiece, and greater ability regulatory process. Presented kinematic scheme of "precession" drilling.

For the implementation of the "precession" drilling, developed a design milling cutter and calculated its basic structural and geometrical parameters, developed the technology for producing such a tool.

To implement the kinematics of the "precession" original developed drilling device that is attached to the spindle drilling machines and implements two main movements process: cutting tool rotation around its own axis and precession movement around the axis of the cutting tool axis machined hole.

**Keywords:** composite materials, machining, drilling, "orbital" drilling, planetary drilling, precession drilling, cutting tool.