

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

**МИЛОКОСТ СТАНІСЛАВ МИКОЛАЙОВИЧ**

**УДК 621.91 : 678.5**

**Підвищення якості обробки отворів у вуглепластику за рахунок  
оптимізації конструкції двоступінчатих свердел**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
магістр**

**Київ – 2014**

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано 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** кандидат технічних наук, доцент  
**Глоба Олександр Васильович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, доцент кафедри інтегрованих технологій  
машинобудування імені П.Р. Родіна

**Рецензент** доктор технічних наук, професор  
**Шевченко Олег Анатолійович**  
Національний авіаційний університет України,  
м. Київ, Аерокосмічний інститут, механіко-  
енергетичний факультет, кафедра механіки, к.т.н.,  
доцент.

**Консультант з  
охорони праці та  
техніки безпеки** кандидат технічних наук, доцент  
**Фоменко Ігор Олександрович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, доцент кафедри охорони праці, промислової  
та цивільної безпеки

Захист відбудеться „\_\_\_” червня 20\_\_ року об \_\_\_ 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** В сучасних умовах та при сучасному розвитку технологій обробки ПКМ, одною з найбільш розповсюджених технологічних операцій при обробці ПКМ різанням являється свердління отворів. Характерним при обробці ПКМ є незначне зношування по передній поверхні, що пояснюється малими силами, що прикладені до цієї поверхні. В той же час, зношування по задній поверхні значне, що пояснюється контактними явищами через велике пружне відновлення оброблювальної поверхні та абразивним властивостям ПКМ. Щоб збільшити стійкість інструменту, необхідно зменшити інтенсивність його зношування, що залежить від виду інструментального матеріалу, геометрії інструменту і ретельності його заточування. В даній роботі досліджується залежність інтенсивності зношування та якості отворів в композиційному матеріалі (вуглепластику) від конструкції інструменту та його геометричних параметрів, а саме від величини головного кута в плані для другого ступеня двоступінчатого свердла. Це дозволить оптимізувати геометрію свердла, підвищити його стійкість та якість оброблюваних отворів. Актуальним є дослідження рівня зношування інструменту для своєчасної його заміни, забезпечення високої якості оброблюваних отворів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України „Київський політехнічний інститут” у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і є частиною досліджень ініціативної теми «Забезпечення якості отворів при свердлінні композиційних матеріалів за рахунок створення нових конструкцій інструментів та способів обробки» (№ держ. реєстрації 0113U002811).

**Мета і задачі дослідження:** Метою роботи є підвищення якості обробки отворів у вуглепластику за рахунок оптимізації конструкції двоступінчатих свердел.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій свердел.
2. Проаналізувати фактори, що впливають на розшарування та якість отворів у ПКМ, дефекти матеріалу при зміні температури обробки, ворсистість тощо.
3. Визначити величину та швидкість зношування інструменту в процесі обробки.
4. Провести порівняння результатів комп'ютерного розрахунку зношування і безпосереднього його вимірювання.
5. Визначити раціональну заточку другого ступеня двохступінчатого свердла.

**Об'єкт дослідження** – конструкції двоступінчатих свердел та їх вплив на якість обробки отворів у вуглепластику при свердлінні.

**Предмет дослідження** – вуглепластики та особливості їх свердління двоступінчатими свердлами, забезпечення якості свердління в вуглепластику.

**Методами дослідження є:**

- практичні досліди по обробці матеріалу двохступінчатим свердлом;
- реєстрація віброакустичного сигналу в зоні різання, що дозволяє здійснювати контроль рівня зношування інструменту і дослідити залежність між рівнем зношування інструменту та якістю оброблювального отвору, геометрією;
- математичне моделювання величини та швидкості зношування, для оцінки якості отворів та прогнозування результатів обробки при зміні певного параметру процесу.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- Підібрані оптимальні геометричні параметри ступінчатого свердла для покращення якості отвору та підвищення стійкості інструменту;
- На основі методів математичного моделювання отримані багатофакторні залежності результатів процесу свердління вуглепластика інструментом різної геометрії.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблені рекомендації по визначенню геометричних параметрів різальної частини свердла для ПКМ.

Результати роботи впроваджені в навчальний процес і використовуються в курсах «Теорія різання», «Композиційні матеріали», що викладаються для студентів спеціальності «Інструментальне виробництво» НТУУ «КПІ», а також при виконанні магістерських робіт та дипломних проектів.

**Публікації та доповіді на конференціях.**

По темі магістерської дисертації опубліковано 2 статті у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ВАК України, 3 тез доповідей на конференціях.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 74 найменувань, 2 додатків. Основний текст дисертації викладено на 106 стор. Повний обсяг становить 114 стор.

## 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 було розглянуто загальні відомості про ПКМ, та дано його визначення, а також описані різні види властивостей ПКМ в залежності від його конструкції та способу виготовлення. Оскільки композиційні матеріали в наш час знайшли широке застосування, також було розглянуто сфери та види промисловості в яких застосовують композити (рис.1).

Підводячи підсумки оцінки ефективності застосування ПКМ, можна навести ще кілька прикладів. Використання подібних матеріалів дозволило знизити масу вантажної космічної ракети на 1400 кг. Застосування в літаку ІЛ – 62 25% деталей з високоміцних композиційних полімерних матеріалів дозволяє зменшити його злітну масу на 17 %, що рівнозначно збільшенню корисної вантажопідйомності на 5 т або збільшенню числа пасажирів на 30 чоловік, дальність польоту на 1000 км.

Проведений аналіз видів механічної обробки композиційних матеріалів: точіння, свердління і розгортання, фрезерування, розрізування, шліфування, і нарізування різьби; побудовано діаграму на якій представлене їх процентне співвідношення (рис. 2).



Рис. 1 Застосування композитів у промисловості

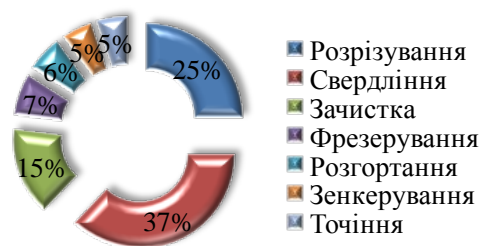


Рис. 2 Структура механічної обробки полімерних композитів

Згідно аналізу, представленому на рис.2, свердління композиційних матеріалів є одним з найпоширеніших видів механічної обробки. Найчастіше отвори у композиційних матеріалах створюються під болтове та заклепкове з'єднання. В даному розділі наведені конструкції свердел, що використовуються для обробки композиційних матеріалів, та показана необхідність підбору індивідуальної конструкції свердла для кожного типу ПКМ (склад ПКМ, схема армування тощо).

Була подана класифікація дефектів у ПКМ при виробленні та експлуатації, а також при механічній обробці, особливу увагу було надано розшаруванню ПКМ, оскільки даний фактор значно знижує якість отворів та надійність кріплення композитних деталей. Розглянуті випадки вспучування матеріалу та розшарування на вході та виході свердла, наведені приклади розшарувань в ПКМ, а також розглянуто вплив розмірів розшарувань на міцність оброблюваної деталі.

У другому розділі було проаналізовано та розглянуто методи математичного моделювання процесу різання, а саме моделі критичного

навантаження першого ступеня свердла та розшарування матеріалу при навантаження другого ступеня. Також в даному розділі описаний метод групового урахування аргументів (метод МГУА), як метод індуктивного моделювання, що дає можливість отримання багатофакторної залежності результатів процесу різання. Враховуючи високу вартість матеріалу та інструменту, застосування математичного моделювання процесу різання є фундаментальним при підборі оптимальної конструкції свердла.

Мета даної роботи полягає в забезпеченості якості отвору при свердлінні вуглепластику за рахунок оптимізації та вдосконалення конструкції ступінчатого свердла. В даному розділі описані причини виникнення та методи вимірювання параметрів які впливають на якість отвору, а саме: шорсткість матеріалу та, особливо, температура в зоні різання, підвищення якої призводить до термодеструкції шарів ПКМ, що робить утворений отвір непридатним для застосування. Також одним з параметрів, необхідних для оптимізації геометричних параметрів ріжучої частини інструменту і режимів різання є сила різання.

У третьому розділі описана методика розрахунку величини та швидкості зношування інструменту, заснована на записі віброакустичного сигналу та його подальшій комп'ютерній обробці. На експериментальній установці реалізовано метод використання п'єзоелектричного вібровимірювального датчика, який фіксує виникнення звукових коливань при розшаруванні матеріалу зразка. Загальна схема установки представлена на рис. 3.

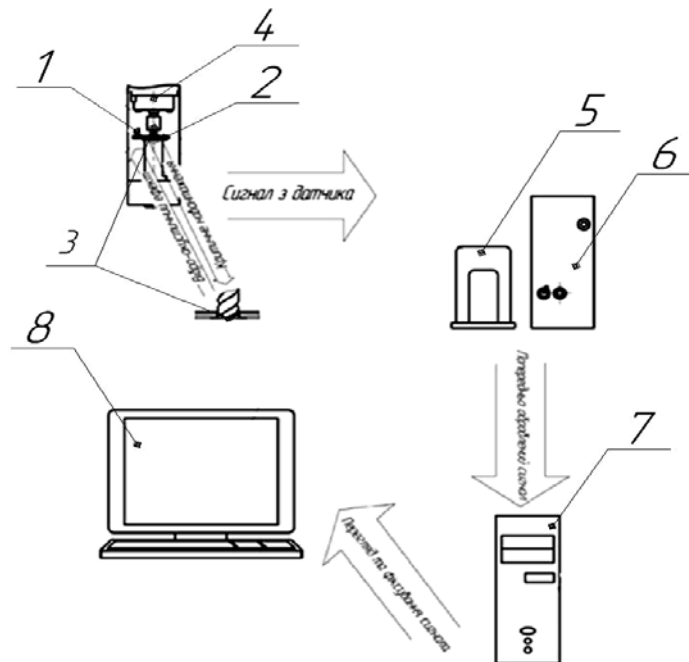


Рис. 3 Схема отримання віброакустичного сигналу (1 – датчик, 2 – зразок ПКМ, 3 – свердло, 4 – шпиндель верстата, 5 – підсилювач, 6 – аналогово-цифровий перетворювач, 7 – ЕОМ, 8 – монітор)

Використаний в роботі пристрій істотно підвищує ефективність дослідження процесу розшарування композиційних матеріалів при

механічній обробці отворів. Після обробки сигналу були проведені розрахунки величини та швидкості зношування. Для доведення адекватності даного методу були проведені безпосередні вимірювання величини зношування свердел. Після вимірювання відхилення отворів від круглої форми в експериментальному зразку були отримані результати та побудовані відповідні малюнки та схеми.

Також у розділі подані результати дослідження температурної залежності для свердел різної конструкції. Вимірювання проводились методом напівштучної термопари та за допомогою лазерного пірометра. Залежність температури свердла від шляху, пройденого свердлом та області вимірювання (рис.4).



Рис. 4 Температура ступінчатого свердла

З рисунку видно, що температура першого ступеня інструменту майже вдвічі перевищує температуру другого ступеня.

В результаті дослідження була отримана тарировочна характеристика для термопари:

$$T = 5,094U + 6,0842$$

Де  $T$  – температура зони різання,  $U$  – величина термо-ЕРС,  $mV$ .

На основі всіх проведених експериментальних досліджень отримана оптимальна конструкція ступінчатого свердла – свердло з  $2\phi = 130^\circ$ .

У четвертому розділі проведений аналіз 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. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення тощо.

## ВИСНОВКИ

1. У роботі проведений аналіз існуючих конструкцій свердел для оброблення ПКМ.
2. Проаналізовані фактори, що впливають на розшарування та якість отворів у ПКМ, причини термодеструкції шарів матеріалу, появу сколів, ворсистості, а також шляхи уникнення дефектів.
3. На основі проведених експериментальних досліджень визначена залежність величини та швидкості зношування інструменту в процесі обробки від геометрії. Проведене порівняння результатів комп'ютерного розрахунку зношування і безпосереднього його вимірювання для доведення працездатності методу фіксування та подальшої обробки віброакустичного сигналу в процесі свердління.
4. Проведені вимірювання температури зони різання методом напівштучної термопари та за допомогою пірометра. В результаті проведених досліджень отримана оптимальна конструкція інструменту для забезпечення високої якості обробленої поверхні ПКМ.
5. В результаті проведеного експериментального дослідження визначена раціональна заточка другого ступеня двохступінчатого свердла.

## СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЯХ

1. Глоба О.В. Методика вібраційного свердління матеріалів та контроль зношування інструменту / О.В. Глоба, С.М. Милокост, І.О. Булах // Збірник тез доповідей 12 всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво». – Київ, 2012. – С. 75-76.
2. Глоба О.В. Підвищення якості отворів в ПКМ за рахунок використання осцилюючого свердління / О.В. Глоба, І.О. Булах, С.М. Милокост // Збірник матеріалів конференції «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку», ДГМА. – Краматорськ, 2013. – С. 40.
3. Глоба О.В. Залежність точності отворів в ПКМ від геометрії інструменту/ О.В. Глоба, С.М. Милокост // Збірник тез доповідей загально-університетської науково-технічної конференції ММІ, ІТМ. – Київ, 2013. – С. 15-16.
4. Глоба О.В. Дослідження якості процесу свердління ПКМ з застосуванням осцилюючого руху інструменту / О.В. Глоба, І.О. Булах, С.М. Милокост // Збірник наукових праць «Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем» ДГМА. – Краматорськ, 2013. – №32. – С. 56 – 62.
5. Глоба О.В. Вплив геометрії свердла на його стійкість і точність виконання отворів при свердлінні композиційних матеріалів / О.В. Глоба, І.О. Булах, С.М. Милокост // Ж. «Технологічні системи» УкрНДІАТ. – Київ, 2013. – №2 (63). – С. 48- 56.
6. Булах І.О. Залежність температури свердла для обробки ПКМ від конструкції / І.О. Булах, О.В. Глоба, С.М. Милокост // Тези доповідей



загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекція "Інтегровані технології машинобудування". – К: НТУУ "КПІ", 2014. – С. 16-17.

## **АНОТАЦІЯ**

### **Милокост С.М. Підвищення якості обробки отворів у вуглепластику за рахунок оптимізації конструкції двоступінчатих свердел**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – Київ, 2014

У роботі проведено огляд основних відомостей та областей застосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Проаналізовані методи механічної обробки ПКМ, зокрема розглянуті особливості свердління отворів. Описані види дефектів у ПКМ.

Розглянуті методи математичного моделювання критичного навантаження матеріалу першим ступенем свердла та критичного зусилля розшарування. Проведено експериментальне дослідження чотирьох конструкцій ступінчатих свердел. На основі аналізу експериментальних даних визначено оптимальну конструкцію інструменту для забезпечення якості отворів у ПКМ та стійкості свердла. Величина та швидкість зношування інструменту були розраховані шляхом запису та аналізу віброакустичного сигналу.

Отримані багатофакторні математичні залежності параметрів процесу різання з застосуванням методу групового урахування аргументів (МГУА). Проведена математична оцінка відхилення утворених отворів від круглості.

**Ключові слова.** ПКМ, свердління, ступінчате свердло, математична модель, МГУА, віброакустичний сигнал.

## **АННОТАЦИЯ**

### **Милокост С.Н. Улучшение качества обработки отверстий в углепластике за счет оптимизации конструкции двухступенчатых сверл**

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 – инструментальное производство. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» – Киев, 2014.

В работе проведен обзор основных сведений и областей применения полимерных композиционных материалов (ПКМ). Проанализированы методы механической обработки ПКМ, в частности рассмотрены особенности сверления отверстий. Описаны виды дефектов в ПКМ.

Рассмотрены методы математического моделирования критической нагрузки материала первой ступенью сверла и критического усилия расслоения. Проведено экспериментальное исследование четырех

конструкций ступенчатых сверл. На основе анализа экспериментальных данных определена оптимальная конструкция инструмента для обеспечения качества отверстий в ПКМ и устойчивости сверла. Размер и скорость изнашивания инструмента были рассчитаны путем записи и анализа виброакустического сигнала.

Получены многофакторные математические зависимости параметров процесса резания с применением метода группового учета аргументов (МГУА). Проведена математическая оценка отклонения образованных отверстий от округлости.

**Ключевые слова.** ПКМ, сверления, ступенчатое сверло, математическая модель, МГУА, виброакустический сигнал.

## ABSTRACT

**Mylokost Stanislav. Improving the quality of holes in carbon fiber by optimizing the design of two-stage drill**

MSc thesis by specialty 8.05050302 – Tool Production. – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. – Kyiv, 2014

The paper contains an overview of key information and applications of polymeric composite materials (PCM). The methods of mechanical PCM processing, including the features of holes drilling were analyzed. Different types of defects in PCM were described.

The paper considered the methods of mathematical modeling of critical loading for first step of drill and critical delamination efforts. An experimental study of four drills designs was done. Based on the analysis of experimental data the optimum design tool for quality assurance of holes in PCM and drills stability was determined. The magnitude and speed of tool wear were calculated by recording and analysis of vibroacoustic signal.

The multifactorial mathematical dependences of the cutting process parameters used of the group method of data handling (GMDH) were obtained. The mathematical estimation of holes deviation from roundness was done.

**Keywords.** PCM, drilling, step drill, mathematical model, GMDH, vibroacoustic signal.