

**Вченому секретареві Спеціалізованої вченої ради
К23.073.02 при Центральноукраїнському національному
технічному університеті**

ВІДГУК

офіційного опонента

д.т.н., професора Саленка Олександра Федоровича, професора кафедри
галузевого машинобудування Кременчуцького національного університету
ім.М.Остроградського

на дисертаційну роботу Аль-Ібрахімі Метак М. А. «Забезпечення раціональних умов абразивного різання композиційних карбонових виробів на верстатах паралельної структури», подану до захисту в спеціалізовану вчену раду К23.073.02 при Центральноукраїнському національному технічному університеті на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Подана до опонування робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку посилань із 210 джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 225 стор., включаючи додатки на 25 стор. Роботу проілюстровано 84 рисунками (розрахунковими схемами, фотографіями, графіками та діаграмами), доповнено 14 таблицями.

1.1. Актуальність. Актуальність роботи не викликає сумнівів, оскільки вона присвячена вирішенню науково-прикладної задачі підвищення ефективності обробки вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів просторової структури на основі встановлення обумовленості формування нових поверхонь при взаємодії з абразивним інструментом шляхом забезпечення раціональних умов різання маніпуляційною системою верстата паралельної структури.

Відомо, що нині доля композиційних в машинобудуванні невпинно зростає, однак якщо практично всі деталі, вироби і конструкції з полімерних композиційних матеріалів можуть формуватися практично в процесі їх викладання, то вуглець-вуглецеві композиційні матеріали, що мають високу механічну міцність, стійкість до механічних і термічних ударів, хімічну, радіаційну та корозійну стійкість, тривалий термін експлуатації і малу вагу, потребують значних обсягів фінішної обробки. Однак саме ці матеріали знаходять застосування в машинах, що працюють в екстремальних умовах: при високих температурах, в агресивних хімічних середовищах, в умовах високих

навантажень. Як правило, вуглець-вуглецеві матеріали створюють у вигляді плетеного 2-D або 3-D каркасу із вуглецевого волокна та вуглецевої матриці.

Необхідність у такій обробці обумовлюється тим, що початкові заготовки із вуглець-вуглецевого матеріалу отримують у вигляді плит, кругів, або брусків.

Різання таких матеріалів на пластини або проміжні заготовки за допомогою абразивних кругів є одним із найбільш доцільних способів обробки, оскільки є можливість отримати вузький проріз із мінімальними пошкодженнями матеріалу та задовільною якістю поверхні. Разом з тим, для обробки армованих матеріалів велике значення набуває точне орієнтування різального інструменту відносно армувальних волокон, що обмежує використання традиційних відрізних верстатів. Вирішення задачі максимального збільшення продуктивності обробки таких матеріалів можливе при використанні верстатів з паралельними кінематичними ланцюгами.

Оскільки відомі конструкції верстатів паралельної структури потребують удосконалення важільної системи та використання надлишкових приводів для підвищення жорсткості технологічної оброблювальної системи, що разом із створенням раціональних умов протікання процесів абразивного руйнування нещільного матеріалу в зоні обробки дозволить підвищити якість обробки та забезпечити її ефективність, можна вважати, що обрана тема досліджень є вкрай актуальною.

Тож підвищення якості розрізання вуглець-вуглецевих заготовок на основі встановлення закономірностей формування поверхневого шару при впливі абразивним інструментом за рахунок забезпечення раціональних умов динамічного контакту маніпуляційною системою верстата паралельної структури є **актуальною науково-технічною задачею**, має велике наукове та практичне значення.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до наукової тематики кафедри «Металорізальні верстати та системи» Центральноукраїнського національного технічного університету і пов'язана з тематикою науково-дослідної роботи кафедри «Підвищення ефективності технологічного обладнання з механізмами паралельної структури» (державна реєстрація № 0111U000304).

1.2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їхня достовірність.

Наукові положення, висновки і пропозиції у достатньо обґрунтовані теоретичним аналізом та експериментальними дослідженнями, коректно поставленими автором. Достовірність основних наукових положень, отриманих результатів і зроблених у дисертації висновків визначається основним положеннями теорії різання матеріалів, теорії тепло- та масопереносу, теорії пружності та пластичності, теорії проектування металорізального обладнання, кваліметрії, векторної алгебри, теорії ймовірності та математичної статистики.

Експериментальні та аналітичні дослідження виконувалися із застосуванням сучасних засобів досліджень – растрової електронної мікроскопії, пірометрії, засобів автоматичної фіксації вимірювальних величин, лазерної інтерферометрії. Достовірність також підтверджена послідовністю висновків, відповідністю теоретичних результатів та експериментальних даних. Результати досліджень не протирічать основним положенням фундаментальних знань з механіки, теплотехніки, теорії тертя та зношування. Це дає підстави вважати, що наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, достовірні, а їх обґрунтування проведено з необхідною повнотою. Результати роботи в повній мірі викладено в опублікованих автором працях.

1.3. Наукова новизна отриманих результатів.

При вирішенні поставлених в дисертації науково-прикладних задач отримані наступні результати:

– вперше отримано закономірності формування поверхневого шару нещільного матеріалу вуглець-вуглецевої групи 3-D плетіння абразивною обробкою та встановлено функціональні взаємозв'язки між прямою динамічного контакту інструменту з поверхнею та термосиловим навантаженням елементів технологічної оброблювальної системи;

– вперше доведено, що порушення теплового балансу зони різання при обробці нещільних вуглець-вуглецевих матеріалів 3-D плетіння веде до випереджаючого зростання локальних температур на поверхні абразивного інструменту та його деформування зі зміною силового навантаження утворених поверхонь і, як наслідок, погіршення якості і точності обробки;

– визначено умову взаємодії абразивних частинок інструменту із нещільним пружним матеріалом заготовки з врахуванням динамічних властивостей верстатної системи паралельної структури, на основі якої підтверджена ефективність застосування важільних маніпуляційних систем у верстатах для обробки вуглець-вуглецевих композитів;

– вперше на основі аналізу сформульованих кінематичних залежностей та матриці просторової жорсткості підтверджено переваги запропонованого механізму паралельної структури з кінематичною надлишковістю у порівнянні з повно-паралельними механізмами.

1.4. Практичне значення результатів роботи.

Практичною цінністю дисертаційного дослідження є:

– запропоновані принципи обробки вуглець-вуглецевих композитів алмазовмістким інструментом на верстатах із надлишковими кінематичними ланками, який базується на забезпеченні раціональної плями контакту інструменту із оброблювальною заготовкою;

– оригінальна інженерна методика призначення режимів різання композитних матеріалів абразивними кругами, що враховує особливості взаємодії

закріплених алмазних зерен із неоднорідним середовищем і впроваджена на ТОВ «Таксі-комфорт», м. Кременчук;

– нові технічні рішення верстатів паралельної структури з кінематичною надлишковістю для абразивної обробки композитних матеріалів;

– математична модель для розрахунку довжин штанг верстата паралельної структури з кінематичною надлишковістю під час обробки деталі та визначення характеристик його просторової жорсткості;

– методики та математичні моделі, що використовуються у навчальному процесі Центральноукраїнського національного технічного університету при викладанні дисциплін «Технологічне обладнання з паралельною кінематикою» і «Теорія різання».

2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертаційна робота складається із вступу, 5 основних розділів, загальних висновків, бібліографічного списку, додатків.

У вступі автор обґрунтовано доводить актуальність теми дисертаційної роботи, визначає мету та задачі дослідження, формулює об'єкт і предмет, на якому зосереджує свою увагу, представляє теоретичну та практичну цінність одержаних результатів досліджень, рівень їх реалізації та впровадження наукових розробок.

В першому розділі окреслено коло проблем, що виникають при обробці різанням композиційних матеріалів. Приведено аналітичний огляд проблеми, охарактеризовано ПКМ, що обробляються абразивним методом за допомогою відрізних кругів, спеціальних фрез, свердел тощо, показано, що, попри високу ефективність, ці процеси досить складно реалізуються на діючому обладнанні, оскільки потребують створення спеціальних умов обробки.

Детально проаналізовані відмінності ПКМ від карбон-карбонових матеріалів, що у якості зв'язника мають піролітичний вуглець, і структура яких формується відповідним просторовим плетінням.

Показано, що для обробки армованих вуглець-вуглецевих матеріалів велике значення набуває точне орієнтування різального інструменту відносно армувальних волокон, що найбільш просто реалізовується саме на верстатах паралельної кінематичної структури. Зроблено висновок, що існуючі технічні рішення, призначені для орієнтування у просторі робочого органу верстата потребують доопрацювання, оскільки не мають стабільних характеристик жорсткості у площині обробки, а недостатня жорсткість самого різального інструменту вносить додатковий вплив на процес різання.

Другий розділ наводить відомості щодо розробки методики визначення ефективності обробки на основі інтенсивності тепловиділення у зоні механічного впливу. Наведено опис устаткування, вимірювальних приладів та інструментального забезпечення дослідження. Для вимірювання температури у

зоні різання використано пірометр із засобами автоматичного зняття та реєстрації даних у вигляді приладу mDaq. Для передування похибки вимірів параметрів термосилового навантаження зони різання та відтворюваності результатів вимірів запропоновано здійснювати гідроструменеве очищення поверхневого алмазовмісного шару. Приведено методику визначення параметрів шорсткості засобами електронної мікроскопії, удосконалено відомі рівняння для визначення параметрів шорсткості порожнистого матеріалу вуглець-вуглецевої групи. Для встановлення умов використання абразивного інструменту на верстатах із паралельними кінематичними структурами створено дослідний маніпулятор із надлишковими приводами, регульованими штангами та змінними динамічними параметрами.

В третьому розділі розглянуто взаємодію алмазовмісного інструменту із нещільним напівпростором, яким уявлено оброблюваний матеріал – карбон-карбоний композит 3-D структури; проаналізовані теплові ефекти та явища у зоні контакту, запропоновано фізичну модель взаємодії та представлено математичний опис технологічної оброблювальної системи, який дозволяє розглянути термосилове навантаження робочого інструменту. Розглянуто задачу виділення тепла на поверхні контакту виходячи з припущення, що головним осередком теплоутворення є тертя робочими поверхнями інструменту оброблюваного матеріалу внаслідок його пружного відновлення, встановлено функціональні взаємозв'язки між пятном динамічного контакту інструмента з поверхнею деталі та термосиловим навантаженням. Запропоноване нове технічне рішення верстата паралельної структури з кінематичною надлишковістю, проведений аналіз кінематичних залежностей та показана доцільність його застосування для маніпулювання шпинделем із абразивним інструментом. Отримано систему рівнянь, яка пов'язує узагальнені координати робочого органу з довжиною приводів штанг змінної довжини. Отримано залежності для визначення матриці жорсткості робочого органу та проаналізовано зміну жорсткості у заданій робочій зоні верстата. Зроблено висновок про більшу жорсткість механізму з кінематичною надлишковістю порівняно із повнопаралельними механізмами паралельної структури. Показано, що зменшення пятна динамічного контакту можливе при належному видаленні продуктів руйнування із зони різання.

В четвертому розділі наведені результати ідентифікації моделі взаємодії інструменту із оброблюваним матеріалом, моделі пружної системи пропонованого верстата із надлишковими кінематичними ланцюгами. Приведені результати досліджень температури в зоні різання, що дозволило встановити параметри моделі для визначення плинних температур в процесі оброблення. Результатами мікроелектронного дослідження поверхні різання та шламу встановлено, що погіршення якості поверхневого шару при обробці вуглець-вуглецевих нещільних матеріалів пов'язане перш за все зі зростанням

температури в зоні різання, обумовленою зміною плями динамічного контакту внаслідок налипання продуктів руйнування на поверхню інструменту.

Оскільки зернистість круга та його щільність визначають розміри частинок шламу та формують структуру поверхні, то для забезпечення високої якості поверхневого шару оброблюваних заготовок рекомендовано використовувати круги з дрібними алмазними зернами. Однак показано, що очищення таких кругів має здійснюватися набагато частіше, для чого запропоновано використовувати струминні методи очищення. Такими діями забезпечується надійність процесу різання. Встановлено, що зі збільшенням часу обробки кругом щільність налипання продуктів різання на поверхні круга зростає, обсяг видалення шламу зменшується, зростають сили різання та деформації пружної системи верстата, падає продуктивність процесу оброблення і погіршується якість оброблених заготовок. Тому, запропоноване використання надлишкового механізму в конструкції верстата паралельної структури дозволяє підвищити жорсткість технологічної системи і точність обробки, зменшити пляму контакту між інструментом і деталлю та тепловиділення в зоні різання.

П'ятий розділ висвітлює рекомендації щодо практичної реалізації результатів дисертаційних досліджень. Запропоноване нове технічне рішення верстата паралельної структури з кінематичною надлишковістю, який має більш широкі можливості орієнтації робочого органу та більшу жорсткість у порівнянні з відомими верстатами із спільною віссю шарнірів робочого органу. На основі багатофакторного експерименту отримано ряд регресійних рівнянь, використаних у запропонованій інженерній методиці розрахунків контрольованих параметрів процесу, зокрема визначення швидкості робочої подачі залежного від умов обробки, типу абразивного інструменту, схеми технологічного налагодження. Приведене економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень та показано, що використання розробок дозволяє скоротити витрати на обробку до 30%. Оскільки матеріал для обробки є достатньо дорогим, таке скорочення витрат є вкрай суттєвим.

3. ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Основні результати дисертації автором висвітлено у 17 наукових працях, з яких 7 надруковано у фахових виданнях України та зарубіжних періодичних виданнях, 7 публікацій у збірниках матеріалів конференцій. Автор також має 3 патенти на корисну модель. Основні теоретичні, практичні та експериментальні результати досліджень, що містяться у дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто і в достатньому ступені висвітлені у фахових рецензованих виданнях. Постановка задач дослідження, формулювання основних положень роботи, опрацювання структури та змісту роботи виконані разом з науковим керівником. Тож можна зробити висновок, що результати

дисертації Аль-Ібрахімі Метак М. А. відповідають вимогам за ознакою «повнота опублікованих результатів».

4. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Зазначаючи клас матеріалів оброблюваних виробів як карбонові композити, автор розглядав переважно різання саме карбон-карбонових матеріалів просторового плетіння: вони володіють значною нещільністю, оскільки матрицею виступає переважно піролітичний вуглець, осаджуваний на джгути вуглецевих волокон. І саме тому ці матеріали потребують спеціальних прийомів оброблення. Однак автором в розділі 1 (стор.28-40) наводяться усі класи композиційних матеріалів на основі вуглецевих волокон, а у наступних – мова йде про вироби із карбон-карбону. Тож подаючи формулювання положень і припущень створюваної фізичної моделі (розд.3.1, стор.89-96), автору доцільно було б указати в тому числі й на можливість застосування міркувань для аналізу оброблюваності інших карбонових матеріалів, наприклад, плоского викладання. Адже створюваний верстат може застосовуватися для обробки широкої гами матеріалів.

2. При розробці фізичної моделі взаємодії абразивного інструменту із нещільним карбоновим матеріалом бажано чітко зазначати який саме абразивний інструмент застосовується, зокрема, щільність алмазних зерен у поверхневому шарі. Автором також не наведено чіткого обґрунтування необхідності застосування інструменту із малою кількістю зерен на робочій поверхні, яку бажано було б додати до рис. 3.1., стор. 90. Однак у подальшому він виконує порівняння продуктивності різання кругами із малою кількістю зерен та з суцільним алмазозносним шаром (рис. 4.10, стор. 141).

Окрім того, проводячи серію експериментальних досліджень (розд.4, стор. 130-141), автору бажано було б подати усі класифікаційні ознаки використовуваного алмазовмісного інструменту – зернистість алмазів, спосіб нанесення шару, натомість він обмежився тільки приведенням типу круга за DIN класифікатором.

3. Аналізуючи теплову задачу (розд.3, п.3.1), автор здійснив її постановку для визначення максимальних температур на периферії та визначення деформівності круга внаслідок нерівномірного нагрівання. Звичайно, пружне відновлення матеріалу із виникненням значних сил тертя у зоні різання (про що зазначали у своїх роботах В.Дрожжин, Н.Верезуб), мала кількість осередків мікрорізання, порожнистість матеріалу ведуть до того, що превалюючим джерелом теплоутворення є тертя поверхнею контакту. І про це слушно зазначає автор у своїй статті [1] стор.21 автореферату. Однак рівняння

теплового балансу, доповнене тепловиділенням на зерні (тобто в осередку різання), було б більш коректним. Тим більше що тоді загальну підведену потужність можна було б уявити як суму потужностей на виконання корисної роботи (зняття матеріалу) та втрат, пов'язаних із тертям. Це б покращило загальне сприйняття роботи.

4. Представляючи методику досліджень процесу абразивної обробки карбон-карбонівих матеріалів алмазовмісним інструментом (розд.2 стор.73-75), автор подав міркування із посиланням на розрахункові схеми, наведені у наступному (3) розділі, зокрема на рис. 3.1. Це ускладнює сприйняття думок автора. Бажано було б доповнити схемами вимірів 2 розд., зокрема, п. 3.1.

5. Приводячи рівняння (3.7) а потім виконуючи зняття динамічних характеристик процесу різання диском зазначеного класу матеріалів (у розд.4), автор мав би застосувати систему автоматичної фіксації силових навантажень відповідних штанг створеного дослідного стенду, а потім здійснити перевизначення рівнів динамічних навантажень як елементів кінематичних ланцюгів механізму, так і місця контакту інструменту із оброблюваною заготовкою, оскільки саме це навантаження визначатиме умови ведення обробки. Тим більше це просто зробити, одночасно визначаючи зміну температури у зоні різання, оскільки застосовуваний автором прилад mDaq дозволяє виконувати записи за 8 каналами.

6. Окремі ілюстрації, графіки та діаграми, представлені автором у роботі, на жаль, не мають коректних підписів та пояснень. Присутні англійські підписи, натомість коректні пояснення автором не наведені. Це стосується рис. 5.5., 5.6, 5.7 (стор. 165, 167)

Хочу зазначити, що висловлені зауваження по роботі і автореферату не мають принципового характеру, і не знижують вагомості отриманих в роботі наукових та практичних результатів.

5. ВИСНОВОК ЩОДО ВІДПОВІДНОСТІ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ

Дисертація Аль-Ібрахімі Метак М. А. «Забезпечення раціональних умов абразивного різання композиційних карбонівих виробів на верстатах паралельної структури» відповідає спеціальності 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти, написана і оформлена згідно з вимогами, які пред'являються до дисертаційних робіт. Автореферат в повній мірі відображає зміст дисертації, написаний коректно і грамотно. В роботі чітко

прослідковується логічність постановок задач досліджень, теоретичного розв'язання, практичної перевірки та формулювання результату наукового дослідження.

6. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ЇЇ ЗАВЕРШЕНОСТІ

Дисертаційна робота Аль-Ібрахімі Метак М. А. «Забезпечення раціональних умов абразивного різання композиційних карбонових виробів на верстатах паралельної структури» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, що характеризується актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю та іншим ознакам наукових робіт. Дисертація містить науково обґрунтовані та доведені наукові положення, що підтверджені експериментально та надають розв'язок важливої науково-технічної задачі підвищення ефективності оброблення композиційних карбонових виробів за рахунок забезпечення раціональних умов абразивної обробки маніпуляційною системою на верстатах паралельної структури.

Зазначена дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9,11,13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор - Аль-Ібрахімі Метак М. А. – заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент
докт.техн.наук, проф.,
професор кафедри галузевого машинобудування
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського

Саленко О.Ф.

Підпис Саленка О.Ф. завіряю



Григоренко А.В.