

## ВІДГУК

офіційного опонента Васильківа Василя Васильовича  
на дисертаційну роботу Костюка Сави Андрійовича  
**«Технологічне забезпечення підвищення працездатності пальців  
сферичних шарнірів статико-імпульсною обробкою»**,  
подану до захисту в спеціалізовану вчену раду K58.052.03 Тернопільського  
національного технічного університету імені Івана Пулюя  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.02.08 – технологія машинобудування

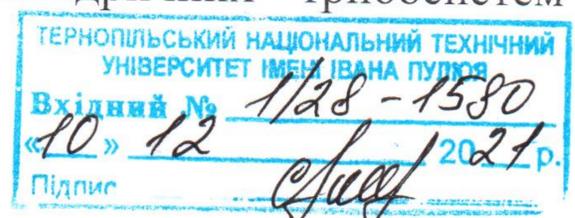
### 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Проблема підвищення працездатності механізмів і машин є однією із головних у машинобудуванні і залишається актуальною. Вирішення задач такого класу можливе завдяки підвищенню експлуатаційних властивостей поверхневого шару деталей машин комбінованими методами структурної модифікації і поверхневого зміцнення. Доцільність застосування способів зміцнення поверхнево-пластичним деформуванням виражається малими енерговитратами та екологічністю процесу. Розвиток нових прогресивних методів зміцнення сприяє розробці сучасних машин та енергоефективного технологічного устаткування.

В сучасній техніці широке застосування отримали сферичні шарніри ковзання, які використовуються для просторових переміщень виконавчих ланок із заданою точністю. Більшість таких шарнірів працюють в умовах циклічного динамічного навантаження при граничному змащуванні, що призводить до передчасного зношування поверхневого шару робочих поверхонь, тому особливі вимоги висуваються до якості та фізико-механічних властивостей неповної сферичної поверхні (НСП) кульового пальця. Зміцнення НСП з можливістю формування геометрично визначеного мастилоутримуючого профілю – маловивчена задача. Тому дисертаційні дослідження, що спрямовані на вирішення задачі створення спеціального технологічного устаткування для біполярного статико-імпульсного зміцнення (СІЗ) та обґрунтування параметрів і режимів його роботи є актуальними.

**Зв'язок роботи з пріоритетними науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи у цілому відповідає існуючим науковим напрямкам та темами науково-технічних (експериментальних) розробок Міністерства освіти і науки України на період 2019–2021 рр., затверджених Наказом Міністерства освіти і науки України №1466 від 28.12.2018 р.

Дисертаційну роботу виконано відповідно до тематик наукового напрямку Хмельницького національного університету в рамках науково-дослідних держбюджетних тем: «Теоретико-експериментальні методи та комп'ютерні моделі забезпечення живучості циліндричних трибосистем



ковзання при нормальному і швидкісному терті» (№ державної реєстрації 0116U001549); «Неруйнівний контроль, діагностування та прогнозування технічного стану електронних систем методом акустичної емісії у виробках військової і невійськової техніки» (№ державної реєстрації 0120U102069).

Проведення комп'ютерного моделювання та інженерного аналізу механізмів, які розглядаються у дисертаційній роботі, виконувалось у системі SolidWorks за грантової підтримки авторизованого представника SolidWorks в Україні – компанії «Інтерсед Україна».

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** роботи полягає в тому, що вони базуються на коректному використанні фундаментальних положень класичної механіки пружно-деформованого твердого тіла та теорії механічних коливань, хвильової теорії, застосуванні автором методу планування експериментів, математичної і прикладної статистики, теорії трибологічних випробувань, моделювання контактної взаємодії методом скінчених елементів, високою збіжністю результатів експериментів з розрахунками. Використані в дисертації основні теоретичні положення, припущення, спрощення є коректними і не містять протиріч.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в новому підході до вирішення задачі підвищення міцності поверхневого шару неповних сферичних поверхонь деталей машин. Здобувач вперше теоретично обґрунтував вимоги до параметрів біполярного статико-імпульсного зміцнення, теоретично довів взаємозв'язок між параметром шорсткості зміцненої поверхні та коефіцієнтом перекриття пластичних відбитків. Також ним виведено математичні залежності для розрахунку режимів роботи устаткування з використанням коефіцієнта перекриття пластичних відбитків, побудовано математичну та імітаційну моделі ударної системи генератора механічних імпульсів для біполярного статико-імпульсного зміцнення, що дозволило розробити інженерну методику проектування ударних систем технологічного устаткування для зміцнення.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що отримав подальший розвиток метод поверхнево-пластичного деформування. Зокрема розроблено нове технологічне устаткування і спорядження для біполярного статико-імпульсного зміцнення зовнішніх циліндричних та неповних сферичних поверхонь деталей машин, технологічне спорядження для точіння зовнішніх сферичних поверхонь. Запропоновані залежності для визначення впливу конструктивних та технологічних параметрів на процес зміцнення неповних сферичних поверхонь, а також розроблено методику вибору технологічних режимів обробки. Запропоновані рекомендації щодо проектування конструкцій ударних систем та генератора механічних імпульсів, які є складовими елементами технологічного устаткування для біполярного статико-імпульсного зміцнення.

Загалом, отримані в роботі результати досліджень розширюють і доповнюють відомі методи зміцнення. Вони знайшли безпосереднє використання і впровадження у ремонтному виробництві при відновленні деталей сферичних шарнірів спецтехніки. В подальшому вони можуть бути використані при проектуванні сучасних машин та обладнання для зміцнення, а також у навчальних процесах.

## **2 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг роботи становить 237 сторінок друкованого тексту, містить 99 рисунків та 25 таблиць, список із 140 використаних джерел, 7 додатків обсягом 42 сторінки.

*У вступі* автор обґрунтував актуальність теми дисертації, вказав на зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформулював мету і задачі дослідження, визначив наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, навів дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації і подав список публікацій.

*Перший розділ* присвячено всебічному огляду сучасного стану питання підвищення працездатності пальців сферичного шарніра. Здобувачем розглянуто основні чинники, які впливають на зниження працездатності шарнірів та проведено огляд існуючих способів зміцнювальної обробки. Обґрунтовано ефективність застосування комбінованих методів, які дозволяють проводити зміцнення поверхневого шару з можливістю формування мастилоутримуючого профілю. Проведений аналіз дозволив сформулювати задачі досліджень.

*У другому розділі* описана загальна методологія роботи, яка передбачає теоретичні та експериментальні дослідження, комп'ютерне моделювання, аналіз і формування множини стратегій вибору оптимальних параметрів процесу зміцнення.

Зокрема наведено методику початкових досліджень оптимального енергетичного діапазону та величини зусилля статичного навантаження інструменту на процес зміцнення. Встановлено взаємозв'язок між величинами радіуса сфери деформуючого елемента (ДЕ) і енергією одиничного удару.

Розглянуто теоретичні основи перебігу хвильових процесів в ударній системі при СІЗ та запропоновано нову модель ударної системи механічного генератора імпульсів з статичним навантаженням інструмента та комбінованим навантаженням бойка.

Здобувачем запропоновано методику і вимірювальний комплекс оригінальної конструкції для дослідження параметрів ударного імпульсу в зоні деформації та досліджено параметри ударного імпульсу для різних ударних систем експериментальна та за допомогою комп'ютерного моделювання.

Автор провів математичне моделювання процесу зміцнення результати якого використовуються при конструюванні та налаштуванні технологічного

устаткування. Для перевірки ефективності біполярного СІЗ було виготовлено експериментальне устаткування для зміцнення та проведено серію випробувань.

*У третьому розділі* автором наведені результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів обробки на вихідні параметри зміцненого поверхневого шару. Досліджено параметри ударного імпульсу в зоні деформації при різних умовах навантаження. Проведено дослідження коефіцієнта корисної дії ударної системи залежно від умов навантаження.

Розглянуто процес формування зміцненого поверхневого шару та розроблено геометричну модель формування мікропрофілю поверхні. Дисертантом запропоновано метод двостадійної обробки поверхонь, який передбачає зміцнення з наступним формуванням геометрично визначеного на поверхні мастилоутримуючого профілю.

*Четвертий розділ* автор присвятив конструюванню основних вузлів технологічного устаткування для біполярного СІЗ та обґрунтуванню параметрів його роботи. Запропоновано нову модель ударної системи ГМІ біполярної дії з додатковим статичним навантаженням ступінчатого бойка.

Запропоновано схему процесу біполярного СІЗ неповних сферичних поверхонь та подані математичні залежності для визначення параметрів обробки з врахуванням коефіцієнта перекриття пластичних відбитків  $K$ . Автор приділив увагу процесам формування мікропрофілю на неповній сферичній поверхні. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано конструкцію генератора механічних імпульсів біполярної дії з статичним навантаженням інструмента та комбінованим навантаженням бойка.

Розглянуто робочий цикл руху бойка ГМІ та побудовано математичні моделі його роботи, проведено комп'ютерне моделювання роботи приводу ГМІ у середовищі SolidWorks.

*У п'ятому розділі* проведено апробацію способу біполярного СІЗ та експериментального устаткування для зміцнення зовнішніх НСП з можливістю формування геометрично визначеного мастилоутримуючого профілю. Автором запропоновано технологію виготовлення пальців сферичних шарнірів і ряд конструкторсько-технологічних рекомендацій з підвищення працездатності сферичних шарнірів.

Таким чином, в дисертації автором поставлене і вирішене завдання, що обумовило широке застосування теоретичних та експериментальних досліджень з використанням розробленого спорядження і устаткування, сучасних методик досліджень. Наукові положення, загальні висновки і розроблені рекомендації у роботі мають належний рівень наукової обґрунтованості та практичної доцільності.

### 3. ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

За матеріалами дисертації здобувачем опубліковано 19 наукових праць, з них 7 статей у фахових виданнях, 1 стаття у закордонному виданні, 5 тез та матеріалів конференцій, 6 патентів України на корисні моделі.

В опублікованих працях в достатній мірі висвітлені наукові положення, основні висновки і рекомендації дисертаційної роботи.

В авторефераті повністю відображені основні положення, висновки та результати дисертаційної роботи. В публікаціях за темою дисертації внесок автора є визначальним, за змістом дисертація і автореферат ідентичні.

Теоретичні положення і практичні результати отримані автором вперше та самостійно є логічно пов'язаними, обґрунтованими коректними експериментальними дослідженнями, задачі, поставлені в роботі в повній мірі вирішені, та поставлену в дисертації мету досягнуто.

### 4. ЗАУВАЖЕННЯ СТОСОВНО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ТА АВТОРЕФЕРАТУ

1. У роботі необхідно було б ширше виокремити інформацію про досягнення закордонних науковців та виробничих установ, які займались дослідженням та виготовленням сферичних шарнірів, також питаннями статико-імпульсної обробки.

2. В рамках деталізації характеристики працездатності сферичних шарнірів доцільно було б конкретизувати фізико-механічні властивості полімерних матеріалів вкладишів, що охоплюють сферичну поверхню пальця та провести оцінку їх можливого впливу на працездатність і довговічність такого спряження в цілому.

3. Із матеріалів, наведених у розділі 2.7 не зовсім зрозуміло як на величину висоти мікрориступів  $h_z$  впливає радіус сферичної поверхні оброблюваної деталі.

4. У матеріалах дисертаційного дослідження доцільно було б здійснити порівняння фізико-механічних властивостей та параметрів якості поверхонь сферичних елементів пальців шарнірів у відомих та розроблених технічних рішеннях.

5. В роботі запропонована конструкція технологічного устаткування для зміцнення деталей машин способом біполярного статико-імпульсного зміцнення. Варто було б ширше розкрити питання варіативності її кінематики з метою розширення можливостей реалізації такої технології на основі використання сучасного парку стандартного технологічного устаткування.

6. Запропонована машина дозволяє обробляти деталі циліндричної та сферичної форми. Тому з метою розширення області впровадження отриманих результатів у роботі доцільно було б зобразити схему утворення мікрорельєфу на циліндричних поверхнях.

7. У дисертаційній праці бажано було б детальніше розглянути взаємозв'язок силових факторів та кінематичних параметрів при ударній

взаємодії інструменту із оброблюваною деталлю з метою визначення граничних умов виникнення перенаклепу.

8. У роботі не в повній мірі конкретизовані конструкторсько-технологічні обмеження (наприклад, критична кількість проходів обробки тощо) стосовно реалізації запропонованого способу статико-імпульсної обробки відносно умов забезпечення необхідного мікрорельєфу та фізико-механічних властивостей поверхневого шару з огляду на геометричні параметри неповної сферичної поверхні і те що надмірне зміцнення металу призводить до його окрихчування (перенаклепу).

9. З дисертаційної роботи не зрозуміло як враховано зміну розмірів деталей при реалізації запропонованого методу поверхневого зміцнення.

10. З метою подальших досліджень варто було б звернути увагу на умови формування структури з ділянками низької та високої твердості, яка за властивостями подібна до гетерогенної, оскільки куруючи розподілом таких ділянок по об'єму, можливе керування міцнісними та триботехнічними характеристиками робочих поверхонь сферичних шарнірів.

11. У роботі не наведено, однак практичний інтерес складають результати порівняння фізико-механічних властивостей та технологій виготовлення пальців сферичних шарнірів, отриманих з використанням таких відомих технологічних методів як поперечно-клинове прокатування, комбіноване штампування, холодне об'ємне штампування із запропонованим автором способом біполярного статико-імпульсного зміцнення заготовки, отриманої холодним об'ємним штампуванням.

12. У тексті автореферату і дисертації зустрічаються окремі неточності: описки, граматичні помилки (наприклад, на с.126 абзац 2), зокрема русизми (наприклад термін "зазор" можна замінити на українські відповідники "щілина, просвіт"). Крім цього не чіткими для сприйняття є графічні залежності, наведені на рисунку 3.9 на сторінці 120.

Загалом, вказані зауваження не зменшують наукової новизни та практичної цінності дисертаційних досліджень і результатів роботи, які виносяться на захист.

## **5. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ЇЇ ЗАВЕРШЕНОСТІ**

Загалом дисертаційна робота Костюка Сави Андрійовича є завершеною науковою працею, яка характеризується актуальністю, науковою новизною, сукупністю вагомих теоретичних і наукових положень та одержаних практичних результатів. Основні положення роботи, що виносяться на захист та які підтверджені експериментально, створюють в сукупності наукові та прикладні засади обґрунтування та вибору раціональних технологічних і конструктивно-технічних параметрів технологічного процесу виготовлення пальців сферичних шарнірів з підвищеною працездатністю.

Практичні здобутки дисертації дозволяють використовувати теоретичні розробки для ефективного наукового обґрунтування задач технологічної підготовки виробництва пальців сферичних шарнірів.

Зазначене вище дає підставу вважати, що дисертаційна робота «Технологічне забезпечення підвищення працездатності пальців сферичних шарнірів статико-імпульсною обробкою» є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам п.п. 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 (зі змінами) щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Костюк Сава Андрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування».

Офіційний опонент доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя



Васильків В.В.

Підпис д.т.н., доц., проф. кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Васильківа В.В. засвідчую

Проректор з наукової роботи Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя доктор технічних наук професор



Марущак П.О.