

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**  
**ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

НА ТЕМУ:

**«РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РОЗДАВАННЯ ПОРШНЕВИХ ВТУЛОК З  
МЕТОЮ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ РОЗМІРІВ»**

**Виконав:**

здобувач освітнього ступеня «Магістр»  
освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності  
208 «Агроінженерія» денної форми  
навчання

**ФУРМАН Олександр Анатолійович**

**Керівник:**

канд. техн. наук, доцент

**ОЛЕНЮК Олександр Анатолійович**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_.

Шкала ECTS \_\_\_\_\_.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Допускається до захисту:**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Гарант освітньо-професійної програми «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія», канд. техн. наук, доцент,

\_\_\_\_\_

**ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

м. Кам'янець-Подільський, 2024

## ЗМІСТ

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Завдання на виконання дипломної роботи.....                                                              | 4  |
| Анотація.....                                                                                            | 6  |
| Реферат .....                                                                                            | 7  |
| ВСТУП.....                                                                                               | 8  |
| 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗДАВАННЯ ВТУЛОК.....                                                              | 12 |
| 1.1. Аналіз існуючих способів роздавання поршневих пальців .....                                         | 12 |
| 1.2. Аналіз існуючих способів роздавання втулок.....                                                     | 16 |
| 1.3. Обґрунтування актуальності дипломної роботи .....                                                   | 26 |
| 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ<br>ВИСОКОВОЛЬТНОГО РОЗРЯДУ .....                          | 30 |
| 2.1. Методика експериментального дослідження умов формування<br>пробою.....                              | 30 |
| 2.2. Дослідження електричних параметрів високовольтного розряду .....                                    | 31 |
| 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА УДАРНИХ<br>ІМПУЛЬСІВ.....                                        | 40 |
| 3.1. Вимірювання сили удару пластини.....                                                                | 40 |
| 3.2. Вимірювання тиску, швидкості і інтенсивності в хвилі стиснення на<br>поверхні пластини .....        | 43 |
| 4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ РОЗДАВАННЯ ВТУЛОК ПРИ ДОПОМОЗІ<br>ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ЕФЕКТУ .....             | 51 |
| 4.1. Обґрунтування необхідності застосування пропонованої розробки...51                                  |    |
| 4.2. Принцип дії пристрою .....                                                                          | 52 |
| 4.3. Технологічний процес відновлення поршневого пальця .....                                            | 53 |
| 4.4. Режимні параметри технологічного процесу роздавання .....                                           | 54 |
| 4.5. Чисельний аналіз динамічних процесів .....                                                          | 57 |
| 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ....                                                | 62 |
| 5.1. Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з охорони<br>праці та пожежної безпеки ..... | 62 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                                        | 3  |
| 5.2. Розрахунок заземлення робочого електрообладнання майстерні .....                  | 63 |
| 5.3. Карта контролю показників безпеки пристрою для роздавання поршневих пальців ..... | 65 |
| 6. РОЗРОБКА БІЗНЕС-ПЛАНУ .....                                                         | 69 |
| 6.1. Резюме .....                                                                      | 69 |
| 6.2. Маркетинговий аналіз .....                                                        | 70 |
| 6.3. Виробничий план.....                                                              | 72 |
| 6.4. Фінансовий план.....                                                              | 78 |
| 6.5. Визначення точки беззбитковості.....                                              | 79 |
| 6.6. Ризики та шляхи їх зниження.....                                                  | 81 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....                                                       | 83 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                       | 85 |
| ДОДАТОК А Копії друкованих статей .....                                                | 88 |
| ДОДАТОК Б Матеріали комп'ютерної презентації.....                                      | 89 |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Важливим резервом підвищення ефективності використання техніки, економії матеріальних, паливо-енергетичних і трудових ресурсів являється відновлення зношених деталей, тобто комплекс операцій по відновленню справного або працездатного стану деталі і її технічного ресурсу.

Економічна доцільність відновлення деталей обумовлена передусім можливістю повторного і неодноразового використання 65-75% деталей. Собівартість відновлених деталей не перевищує 75% вартості нових, а витрати матеріалів у 15-20 раз нижчі ніж на їх виготовлення.

Разом з тим ресурс деталей після відновлення складає в середньому не більше 60-80% ресурсу нових деталей. Низька якість відновлених деталей обумовлена дефектами просторової геометрії корпусних і базових деталей, застосування способів відновлення, які не забезпечують необхідну зносостійкість, втомлювану стійкість деталей.

Підвищення якості відновлюваних деталей є великою комплексною проблемою, яка вимагає багатостороннього системного аналізу.

На даний час у ремонтному виробництві набула найбільшого поширення технологія, при якій відновлення розмірів деталі відбувається шляхом роздачі. Однак відновлені за даною технологією деталі мають ряд суттєвих недоліків, основним з яких є великі залишкові напруження в матеріалі втулки, що, зрештою, призводить до руйнування деталі.

Одним з перспективних шляхів розвитку технології відновлення зношених деталей типу втулки є застосування з цією метою електрогідравлічного ефекту.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами досліджень.* Робота виконувалась у відповідності з переліком пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок затверджених Постановою Кабінету Міністрів України.

*Мета і завдання досліджень.* Мета роботи полягає у розробці та впровадженні технології роздавання поршневих втулок для відновлення їх робочих розмірів із застосуванням електрогідравлічного ефекту, що забезпечить зменшення залишкових напружень, рівномірність деформації та підвищення зносостійкості деталей, тим самим знижуючи витрати на закупівлю нових компонентів.

Для досягнення поставленої мети в ході роботи потрібно вирішити такі задачі:

- Провести аналіз літератури та патентно-інформаційних джерел, присвячених питанням роздавання втулок;
- Вивчити особливості технологічного процесу проходження електрогідравлічного вибуху;
- На основі експерименту дослідити вплив конструктивних параметрів та режимів роботи роздавального пристрою на якість і продуктивність процесу роздавання втулок;
- Встановити залежність параметрів парогазової порожнини і переміщень пластини електророзрядного генератора пружних коливань від режимів роботи пристрою;
- Розробити заходи з охорони праці щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці, а також запропонувати дії у надзвичайних ситуаціях.
- Провести техніко-економічне обґрунтування розробки та впровадження пристрою і технології роздавання втулок в ремонтне виробництво на основі бізнес-плану.

*Об'єкт дослідження* – процес відновлення робочих розмірів поршневих втулок за допомогою технології роздавання, заснованої на використанні електрогідравлічного ефекту.

*Предмет дослідження* – технологічні особливості та параметри процесу роздавання поршневих втулок з використанням електрогідравлічного ефекту,

що забезпечують рівномірність деформації, зменшення залишкових напружень і підвищення зносостійкості деталей.

*Методи досліджень.* Для досягнення поставленої мети в дослідженні використовувалися такі методи: аналітичний метод – для аналізу науково-технічної літератури з питань відновлення зношених деталей, зокрема втулок, та дослідження ефективності застосування електрогідравлічного ефекту в обробних технологіях. Експериментальний метод застосовувався для вивчення параметрів високовольтного розряду, які впливають на рівномірність деформації та залишкові напруження у матеріалі втулок. Проведення експериментів дозволило визначити оптимальні режимні параметри для процесу роздавання втулок.

Статистичні методи використовувалися для обробки отриманих експериментальних даних, що дало змогу оцінити ефективність застосованих режимів та точність відновлення робочих розмірів втулок. Математичне моделювання застосовувалося для розробки та оптимізації конструкції пристрою для роздавання втулок з використанням електрогідравлічного ефекту, що забезпечило прогнозування результатів деформації та можливість подальшого вдосконалення технології.

*Практичне значення одержаних результатів.* Одержані результати досліджень можуть бути впроваджені в ремонтних і виробничих підприємствах для відновлення зношених поршневих втулок, що дозволяє суттєво знизити витрати на закупівлю нових деталей. Використання технології роздавання втулок з електрогідравлічним ефектом забезпечує рівномірну деформацію та зниження залишкових напружень, що значно подовжує термін служби відновлених деталей. Це особливо актуально для підприємств агропромислового комплексу, де техніка працює в умовах високих навантажень.

Розроблена методика дозволяє підвищити якість і точність відновлення деталей, забезпечуючи їх експлуатаційні характеристики на рівні нових виробів. Запропонована технологія є економічно вигідною альтернативою

традиційним методам відновлення, оскільки мінімізує трудові та матеріальні витрати. Впровадження цієї технології сприятиме покращенню ефективності виробництва, зниженню простоїв обладнання та забезпеченню стабільної роботи технічних засобів у різних галузях промисловості.

*Апробація результатів роботи.* За матеріалами роботи опубліковано статтю у збірнику наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. У роботі проведено всебічний аналіз технологій роздавання втулок, виявлено основні методи та недоліки традиційних способів відновлення деталей, таких як хромування та роздавання пуансоном, що мають низьку ефективність через великі залишкові напруження. Одним з перспективних шляхів розвитку технології відновлення зношених деталей типу втулки є застосування з цією метою електрогідравлічного ефекту.

2. Дослідження високовольтного розряду дозволило встановити оптимальні параметри для забезпечення стабільної роботи електророзрядних генераторів пружних коливань, що використовуються для роздавання втулок у замкнених об'ємах рідини.

3. Запропонована технологія роздавання втулок за допомогою електрогідравлічного ефекту забезпечує значне зниження витрат на відновлення деталей і підвищує довговічність продукції, що важливо для підприємств, які активно експлуатують техніку в умовах високих навантажень.

4. У межах експериментальних досліджень ударних імпульсів було визначено методи вимірювання тиску та швидкості в хвилі стиснення на поверхні пластини електророзрядного генератора, що дозволило забезпечити рівномірне роздавання втулок.

5. Аналіз отриманих даних по передпробивним втратам показав, що в ряді випадків вони можуть досягати більш 50% запасеної енергії. Із цього випливає, що вибір оптимальних параметрів ланцюга і геометрії електродної системи повинен проводитися обов'язково з врахуванням передпробивних втрат.

6. Розроблено конструкцію пристрою для роздавання втулок за допомогою електрогідравлічного ефекту, що забезпечує високу точність і зносостійкість відновлюваних деталей, дозволяє уникнути нерівномірності деформації та підвищує продуктивність процесу відновлення.



7. Виробничий процес включає попередню обробку, електрогідравлічну обробку та фінішну обробку втулок, що дозволяє забезпечити високий рівень якості і точності готових виробів.

8. Застосування розробленої технології дозволяє значно знизити залишкові напруження у відновлених деталях, завдяки чому досягається більш рівномірна деформація, що позитивно впливає на механічні властивості відновлених втулок.

9. У розділі охорони праці запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на безпечну експлуатацію обладнання, що використовує високовольтні електророзряди, зокрема розроблено систему контролю та підтримки належного технічного стану обладнання.

10. Розроблено бізнес-план для впровадження нової технології роздавання втулок, який включає виробничий, фінансовий та маркетинговий аспекти. Згідно з фінансовими розрахунками, валові витрати на реалізацію проєкту становлять 742 971 грн, а дохід від реалізації продукції – 1 152 000 грн, що дозволяє отримати чистий прибуток у розмірі 217 029 грн. Показник рентабельності складає 29,2%, що свідчить про високу економічну ефективність впровадженої технології, а термін окупності інвестицій прогнозується на рівні 3 років, що є прийнятним для інвестиційного проєкту такого типу. Було оцінено ринковий попит і економічну вигоду, що робить технологію привабливою для ремонтного виробництва, особливо для агропромислових підприємств.

11. Впровадження нової технології забезпечує конкурентну перевагу за рахунок інноваційності, підвищеної якості та довговічності деталей, що сприяє залученню клієнтів і стабільності фінансових показників підприємства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія». / Ю.І. Панцир та інші / За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ», 2023. 51 с.
2. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. 374 с.
3. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник Львів : Світ, 2006. 624 с.
4. John D., Marciniak Z., Hu J. Mechanics of Sheet Metal Forming. Elsevier Science & Technology Books, 2002. 211 p.
5. Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Основи технологій обробки поверхонь деталей машин : підручник / за ред. В.А. Кириловича. Житомир : Видавець О.О. Євенок, 2017. 266 с.
6. Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском : навч. посіб. Кривий Ріг : Чернявський Д. О., 2020. 206 с.
7. Extractive Metallurgy of Copper, 4th Edition / M. King et al. 4th ed. Pergamon, 2002. 452 p.
8. Грицай, І. Є. Кукляк М. Л. Різання металів. Теорія різання : навч. посіб. Львів : Львів. політехніка, 2005. 132 с.
9. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур та ін. Львів: Новий Світ-2000, 2010. 422 с.
10. Плисак, В.Ф., Роп'як Л.Я., Кустов В.В. Металорізальні верстати і промислові роботи : навч. посіб. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2003. 170 с.
11. Кузін, О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник Львів : Афіша, 2002. 304 с.
12. Mechanics of Sheet Metal Forming, Second Edition / ed. by J. H. (Editor), Z. M. (Editor), J. D. (Editor). 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2002. 211 p.

13. Високошвидкісні методи обробки металів тиском : підручник / В. А. Тітов та ін. Київ : КВІЦ, 2010. 304 с.
14. Saanouni K. Damage mechanics in metal forming: Advanced modeling and numerical simulation. London : ISTE Ltd, 2012.
15. Saanouni K. Damage Mechanics in Metal Forming: Advanced Modeling and Numerical Simulation. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013. 544 p.
16. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування : монографія / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. 158 с.
17. Hingole R. S. S. Advances in Metal Forming: Expert System for Metal Forming. Springer, 2016. 136 p.
18. Hosford W., Caddell R. Metal Forming: Mechanics and Metallurgy. 3rd ed. Cambridge University Press, 2007. 328 p.
19. Hosford W. F. Metal Forming: Mechanics and Metallurgy. 4th ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2011. 295 p.
20. Кухар В.В., Аніщенко О.С., Присяжний А.Г. Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навч. посіб. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с.
21. Кислий В. М. Організація наукових досліджень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Суми : Унів. кн., 2011. 224 с.
22. Бориченко К. В., Гудзь А. О., Панфілов О. Є. Методологія та організація наукових досліджень : навч. - метод. посібник. Одеса : Фенікс, 2022.
23. Крушельницька О. В. Методологія і організація наукових досліджень : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Київ : Кондор, 2009. 192 с.
24. Охорона праці в Україні. Нормативні документи. Київ : КНТ, вид-во, 2004. 438 с.
25. Москальова В. М. Основи охорони праці : Підручник. Київ : Професіонал, 2005. 672 с.

26. Ярошевська В. М. Безпека життєдіяльності : [підруч. для студ. ВНЗ]. Київ : Професіонал, 2004. 560 с.
27. Стасовський Ю.М., Чухліб В.Л., Бояркін В.В. Ресурсозбереження та екологія в процесах обробки металів тиском : підручник / за ред. Ю. М. Стасовського. Дніпропетровськ : Пороги, 2013. 353 с.
28. Бурковський І.Д., Гаркуша О.М., Гончаренко І.В. Оснащеність аграрного сектору АПК технікою та забезпечення ефективного її використання в умовах становлення ринкових відносин. Київ : ІАЕ УААН, 2000. 184 с.
29. Тарасюк Г. М. Бізнес-план: розробка, обґрунтування та аналіз : навч. посіб. для студентів ВНЗ. Київ : Каравела, 2008. 280 с.
30. Барнич Ю.О. Бізнес-план підприємницької виробничої діяльності : навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 124 с.
31. Воротіна Л.І., Воротін В.Є., Чайковська В.П. Бізнес-планування: методологія, методика, механізм : навч. посіб. Київ : Вид-во Європ. ун-ту, 2010. 223 с.