

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

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

НА ТЕМУ:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ  
СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ»**

**Виконав:**

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

**ФУРКАЛ Владислав Дмитрович**

**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**

## ЗМІСТ

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Завдання на виконання дипломної роботи.....                                                             | 4  |
| Анотація.....                                                                                           | 6  |
| Реферат .....                                                                                           | 7  |
| ВСТУП.....                                                                                              | 8  |
| 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....                                                               | 13 |
| 1.1. Існуючі електричні способи обробки сталевих деталей.....                                           | 13 |
| 1.2. Обґрунтування теми та формулювання задачі досліджень.....                                          | 18 |
| 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-<br>ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА КОНТАКТНУ МІЦНІСТЬ .....    | 22 |
| 2.1. Технологічні можливості електричної обробки .....                                                  | 22 |
| 2.2. Електромеханічне зміцнення .....                                                                   | 23 |
| 2.3. Електрофізичні методи обробки .....                                                                | 26 |
| 2.4. Електрохімічні методи обробки.....                                                                 | 35 |
| 2.5. Комбіновані методи обробки .....                                                                   | 37 |
| 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО<br>ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ .....                  | 40 |
| 4. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ<br>ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ..... | 49 |
| 4.1. Обґрунтування необхідності використання пристрою .....                                             | 49 |
| 4.2. Вимоги, які ставляться до пристрою для електромеханічної обробки<br>валів .....                    | 51 |
| 4.3. Будова і робота пристрою.....                                                                      | 52 |
| 4.4. Розрахунок конструктивних параметрів пристрою .....                                                | 54 |
| 4.5. Розрахунок вісі на міцність .....                                                                  | 58 |
| 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ....                                               | 63 |
| 5.1. Загальні вимоги .....                                                                              | 63 |
| 5.2. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці.....                                                    | 65 |
| 5.3. Розрахунок заземлення робочого електрообладнання майстерні .....                                   | 65 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                                     | 3   |
| 5.4. Технологічна картка контролю показників безпеки установки..... | 68  |
| 5.5. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....                          | 69  |
| 6. РОЗРОБКА БІЗНЕС-ПЛАНУ .....                                      | 73  |
| 6.1. Резюме .....                                                   | 73  |
| 6.2. Концепція проекту .....                                        | 73  |
| 6.3. План маркетингових заходів .....                               | 75  |
| 6.4. Виробничий план.....                                           | 77  |
| 6.5. Фінансовий план.....                                           | 84  |
| 6.6. Ризики та шляхи їх зниження.....                               | 86  |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....                                    | 88  |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                    | 90  |
| ДОДАТОК А Способи обкатування роликами складних поверхонь .....     | 93  |
| ДОДАТОК Б Копії друкованих статей.....                              | 99  |
| ДОДАТОК В Матеріали комп'ютерної презентації .....                  | 100 |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* В сільськогосподарському виробництві експлуатується велика кількість різних машин, у тому числі енергонасичені трактори, комбайни, автомобілі, а також обладнання яке використовується в підсобних цілях по переробці с/г продукції і тощо. Незалежно від того, працюють вони, простоюють чи транспортуються, змінюються фізико-механічні і геометричні параметри деталей. Одночасно знижуються техніко-економічні показники конструкції в цілому і настає момент, коли подальша її експлуатація неможлива або стає економічно недоцільною. Тому у процесі експлуатації машина потребує технічного обслуговування з метою підтримання її технічного стану, а також ремонту для відновлення цих якостей, коли експлуатація стає неможливою.

Проте, коли машина (або інша техніка) вийшла з ладу, то це ще не означає, що всі деталі та спряження втратили свої якості, оскільки деталі виготовлені з матеріалів із різними фізико - механічними властивостями і мають різну інтенсивність зношування; застосування системи допусків на розміри, похибка форми та шорсткість поверхонь, показники термічної обробки та інші параметри обумовлюють випадковість сприятливих та несприятливих поєднань цих параметрів у спряженнях і, як результат, - різні строки служби; неоднакова напруженість роботи деталей та вузлів; строки служби елементів окремих варіантів машин мають значні розходження внаслідок різноманітних умов роботи.

Технологічний процес ремонту техніки повинен забезпечити одержання продукції високої якості при найбільш повному використанні всіх технічних можливостей устаткування, пристроїв та інструментів і при найменшій вартості виконаних робіт.

Підвищення якості відремонтованої техніки, зниження витрат на її ремонт і обслуговування невід'ємно зв'язані із оптимальними рішеннями,

спеціалізацією, кооперуванням ремонтно-обслуговуючих підприємств, із раціональним їх використанням.

Реалізація вибраної стратегії технічного обслуговування і ремонту обумовлює необхідність функціонування відповідної ремонтно-обслуговуючої бази, вона повинна забезпечити своєчасне виконання всіх видів робіт та високу якість їх виконання.

У сучасних умовах, дедалі більшою напруженості роботи машин, що пов'язано зі збільшенням потужності, швидкості, тиску, а також з підвищеними вимогами до точності їх роботи, питання надійності набувають виключно велике значення. Ремонт та відновлення працездатності машин забирають величезні ресурси. Це багато в чому пояснюється низькою міцністю поверхневого шару сполучених деталей машин, що становить усього частку відсотка від усієї маси деталей.

Отже, для підвищення довговічності машин вирішальне значення має зміцнення тертьових поверхонь деталей у процесі їх виготовлення та ремонту. Електромеханічна обробка, заснована на термічному і силовий вплив, вона істотно змінює фізико-механічні показники поверхневого шару деталей і дозволяє різко підвищити їх зносостійкість, межа витривалості та інші експлуатаційні характеристики деталей.

Підсумовуючи все вище сказане, враховуючи нинішню ситуацію, з метою економії та зниження собівартості продукції, росту продуктивності праці та підвищення рівня механізації можна зробити висновок про доцільність подальшого вдосконалення ремонтно-обслуговуючої бази сільського господарства шляхом застосування нових і прогресивних технологій відновлення і зміцнення деталей сільськогосподарської техніки.

*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.* Метою досліджень є розробка та впровадження ефективної технології електромеханічного зміцнення сталевих деталей, яка дозволить підвищити їх експлуатаційні характеристики, зокрема контактну міцність, зносостійкість та довговічність. У зв'язку з широким застосуванням сільськогосподарської техніки в аграрній сфері, особливо актуальним є підвищення надійності та довговічності деталей, що піддаються інтенсивним механічним навантаженням. Електромеханічне зміцнення дозволяє створити на поверхні сталевих деталей зміцнений шар, який покращує їх робочі властивості.

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасні методи електромеханічного зміцнення сталевих деталей, їх технічні і технологічні характеристики.
2. Провести теоретичні дослідження впливу процесу поверхнево-пластичного деформування на контактну міцність сталевих деталей.
3. Розробити технологічні рішення, що дозволять комбінувати електромеханічне зміцнення з іншими методами обробки для досягнення оптимальних характеристик зміцненого шару.
4. Провести експериментальні дослідження з метою виявлення найбільш ефективних режимів електромеханічної обробки, які забезпечать максимальну зносостійкість та довговічність деталей.
5. Розробити техніко-економічне обґрунтування впровадження технології в промислове виробництво, включаючи оцінку вартості процесу та можливі економічні вигоди.

Завдання спрямовані на комплексний аналіз і впровадження технології, що забезпечить довговічність та надійність сталевих деталей, а також підвищить економічну ефективність їх виробництва і ремонту.

*Об'єкт дослідження* – процес електромеханічного зміцнення сталевих деталей для підвищення їх експлуатаційних характеристик у сільськогосподарській техніці.

*Предмет дослідження* – технологічні параметри та вплив електромеханічного зміцнення на зносостійкість, контактну міцність та довговічність поверхневого шару сталевих деталей.

*Методи досліджень.* Методи досліджень, використані в роботі, включають комплекс теоретичних, експериментальних та аналітичних підходів для досягнення поставлених завдань. На початковому етапі було проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури для вивчення сучасних методів електромеханічного зміцнення сталевих деталей та аналізу їх ефективності. Особлива увага була приділена електромеханічним та електрофізичним методам обробки, їх впливу на механічні властивості та структуру поверхневого шару сталевих деталей.

Для експериментальних досліджень було розроблено технологічний процес електромеханічного зміцнення, який включав дослідження різних режимів обробки. У ході експериментів вимірювалися такі показники, як глибина зміцненого шару, шорсткість поверхні, твердість і залишкові напруження. Також використовувалися математичні методи моделювання для визначення оптимальних технологічних параметрів процесу, зокрема сили струму та тривалості обробки.

Для обробки отриманих даних застосовувалися методи статистичного аналізу, що дозволило виявити залежності між параметрами процесу зміцнення та експлуатаційними характеристиками деталей, а також визначити оптимальні режими обробки для досягнення максимальних механічних показників.

*Практичне значення одержаних результатів.* Одержані результати досліджень дозволяють вдосконалити технологічні процеси ремонту та відновлення сталевих деталей сільськогосподарської техніки, забезпечуючи їх підвищену зносостійкість і довговічність. Розроблені методи електромеханічного зміцнення можуть бути впроваджені на підприємствах машинобудування і сервісних центрах для покращення якості технічного обслуговування і ремонту. Це сприятиме зменшенню витрат на заміну

зношених деталей, підвищенню ефективності експлуатації техніки та зниженню простоїв. Крім того, використання цих технологій може покращити економічні показники підприємств завдяки скороченню виробничих витрат і підвищенню надійності технічних систем.

*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 було детально проаналізовано сучасні методи електромеханічного зміцнення сталевих деталей, що використовуються в машинобудуванні, зокрема в ремонті сільськогосподарської техніки. Переваги цих методів включають зниження витрат на інструменти, високу продуктивність та можливість відновлення деталей з високою точністю. Це обґрунтовує необхідність і актуальність впровадження технологій, що базуються на електричній обробці металів, як однієї з ключових у сучасних виробничих процесах.

2. Дослідження показало значний потенціал електричних методів обробки матеріалів, таких як електрофізичні та електрохімічні методи, які дозволяють досягти високої точності та ефективності. Використання електричних імпульсів і струмів у процесах зміцнення та обробки деталей дозволяє підвищити їх міцність та зносостійкість, що є критично важливим для деталей сільськогосподарської техніки.

3. Експериментально доведено ефективність електромеханічного зміцнення сталевих деталей обертання, що дозволяє значно покращити характеристики поверхневого шару. Це збільшує його міцність та сприяє подовженню терміну служби оброблених деталей. Отримані результати підтверджують доцільність використання електромеханічного зміцнення у виробництві і ремонті сталевих деталей.

4. Було розроблено та досліджено новий технологічний процес електромеханічного зміцнення сталевих деталей, що поєднує термічний та механічний вплив на поверхню деталей. Завдяки цьому методу досягається покращення фізико-механічних властивостей деталей, що підвищує їх зносостійкість та працездатність у складних умовах експлуатації.

5. Дослідження охопило аналіз вимог щодо охорони праці та техніки безпеки, що стосуються експлуатації обладнання для електромеханічної обробки. Було розроблено рекомендації щодо покращення умов праці та

забезпечення безпеки працівників під час проведення робіт з електричними методами зміцнення деталей. Відповідність вимогам стандартів охорони праці є важливим аспектом безпечної роботи з обладнанням.

6. Вивчено економічну доцільність впровадження нових технологій у виробничі процеси. Показано, що використання нових методів зміцнення деталей знижує витрати на ремонт та обслуговування техніки, підвищуючи ефективність виробничих підприємств. Розробка бізнес-плану продемонструвала, що інвестиції в технології електромеханічного зміцнення окупляться протягом декількох років, забезпечуючи високі економічні показники для підприємства. В результаті розрахунків визначено, що річна виручка від реалізації послуг становитиме 4 253 000 грн, що забезпечить чистий прибуток у розмірі 351 046 грн. Період окупності капітальних вкладень, які складають 985 840 грн, становить 2,8 року. Це дозволяє зробити висновок, що проект є економічно доцільним та фінансово стійким, з високими шансами на успішну реалізацію в умовах ринку.

7. Використання електромеханічних методів обробки матеріалів відкриває нові можливості для інновацій у сфері машинобудування та ремонту техніки. Особливо важливими є можливості покращення якості обробки сталевих деталей, що знижує ризик поломок та підвищує надійність техніки в аграрній сфері. Це робить технології електромеханічного зміцнення перспективними для масового впровадження.

8. Особлива увага приділяється екологічній безпеці нових технологій. Використання електричних методів обробки дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля за рахунок скорочення використання ресурсів і зменшення викидів шкідливих речовин під час виробничих процесів. Це важливий крок у напрямку впровадження екологічно безпечних технологій у виробництво.

## 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.Кузін, О. А., Яцюк Р. А. Металознавство та термічна обробка металів : підручник Львів : Афіша, 2002. 304 с.
- 3.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.
- 4.Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів : підручник Київ : Літера ЛТД, 2019. 224 с.
- 5.Glezer A. M., Kozlov E. V., Kurzina I. A. Plastic Deformation of Nanostructured Materials. Taylor & Francis Group, 2017. 334 p.
- 6.Kettunen P. O. Plastic deformation and strain hardening. Enfield, N.H : Trans Tech, 2002. 410 p.
- 7.Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Технологія процесів обробки металів тиском : навч. посіб. Кривий Ріг : Чернявський Д. О., 2020. 206 с.
- 8.Високошвидкісні методи обробки металів тиском : підручник / В. А. Тітов та ін. Київ : КВІЦ, 2010. 304 с.
- 9.Messerschmidt U. Dislocation dynamics during plastic deformation. Heidelberg: Springer, 2010. 503 p.
- 10.Vilys J. Particularities [sic] of plastic deformation of metals near surface layers: Monograph. Kaunas : "Technologija", 2003. 207 p.
- 11.Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур та ін. Львів: Новий Світ-2000, 2021. 472 с.
- 12.Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук / Г.П. Кисла та ін. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 336 с.

- 13.Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування : монографія / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. 158 с.
- 14.Трач В.М., Подворний А.В. Опір матеріалів (спеціальний курс): теорія пружності та пластичності. Київ: Каравела, 2018. 434 с.
- 15.Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 320 с.
- 16.Кухар В.В., Аніщенко О.С., Присяжний А.Г. Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навч. посіб. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с.
- 17.Honeycombe R. W. K. The plastic deformation of metals. New York: St. Martin's Press, 1998. 477 p.
- 18.Horn C. T. Cyclic Plastic Deformation & Welding Simulation. Delft Univ Pr, 2002. 158 p.
- 19.Rosochowski A. A. Severe Plastic Deformation Technology. Taylor & Francis Group, 2016. 264 p.
- 20.Стадник Б.І. Метрологія та вимірювання: навч. посіб. Львів: Львівська політехніка, 2012. 312 с.
- 21.Кухар В.В., Аніщенко О.С., Присяжний А.Г. Основи експериментальних методів дослідження процесів обробки металів тиском : навч. посіб. Маріуполь : ПДТУ, 2019. 234 с.
- 22.Іваненко О.І. , Носачова Ю.В., Радовенчик Я.В. Основи наукових досліджень: посібник. Київ: Кондор, 2020. 132 с.
- 23.Кислий В. М. Організація наукових досліджень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Суми : Унів. кн., 2011. 224 с.
- 24.Бориченко К. В., Гудзь А. О., Панфілов О. Є. Методологія та організація наукових досліджень : навч. - метод. посібник. Одеса : Фенікс, 2022. 311 с.
- 25.Крушельницька О. В. Методологія і організація наукових досліджень : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Київ : Кондор, 2009. 192 с.

26. Закон України про охорону праці : Офіц. вид. Київ : Парлам. вид-во, 2000. 32 с.
27. Охорона праці в Україні. Нормативні документи. Київ : КНТ, вид-во, 2004. 438 с.
28. Москальова В. М. Основи охорони праці : Підручник. Київ : Професіонал, 2005. 672 с.
29. Ярошевська В. М. Безпека життєдіяльності : [підруч. для студ. ВНЗ]. Київ : Професіонал, 2004. 560 с.
30. Тарасюк Г. М. Бізнес-план: розробка, обґрунтування та аналіз : навч. посіб. для студентів ВНЗ. Київ : Каравела, 2008. 280 с.
31. Барнич Ю.О. Бізнес-план підприємницької виробничої діяльності : навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 124 с.
32. 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.