

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОСИЛЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА МІЦНОСТІ
ЗУБІВ ШЕСТЕРЕНЬ ТРАКТОРНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ»**

Виконав:

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

МОСКАЛЕНКО Сергій Сергійович

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 СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПОВЕРХНЕВОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ	12
1.1. Аналіз існуючих способів зміцнення деталей за допомогою поверхневої пластичної деформації	12
1.2. Підвищення зносостійкості та тріщиностійкості за допомогою поверхневої пластичної деформації	27
1.3. Обґрунтування актуальності розробки технології обкатування роликами і кульками зубчастих коліс	38
2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС МЕТОДАМИ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ	42
2.1. Існуюча техніка і технологія для зміцнення зубчастих коліс	42
2.1.1. Статичні методи	43
2.1.2. Ударні методи.....	44
2.2. Аналіз конструкцій пристроїв для обкатування зубчастих коліс.....	45
3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ ОБКАТУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС	59
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	65
4.1. Обґрунтування необхідності розробки	65
4.2. Принцип роботи пристрою для обкатування зубчастих коліс.....	65
4.3. Вимоги, які ставляться до розробки	68
4.4. Розрахунок болтів кріплення корпусу пристрою та шпонки.....	69
4.4.1. Розрахунок болтів	69
4.4.2. Розрахунок шпоночного з'єднання	71

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
5.1. Загальні вимоги з охорони праці	73
5.2. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці.....	74
5.3. Технологічна картка контролю показників безпеки установки.....	75
5.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	76
6. РОЗРОБКА БІЗНЕС-ПЛАНУ	78
6.1. Резюме	78
6.2. Аналіз ринку збуту та оцінка конкуренції	78
6.3. Маркетинговий план	79
6.4. Виробничий план	80
6.5. Фінансовий план.....	90
6.6. Визначення точки беззбитковості.....	92
6.7. Ризики та шляхи їх зниження.....	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
ДОДАТОК А Копії друкованих статей	101
ДОДАТОК Б Матеріали комп'ютерної презентації	102

ВСТУП

Актуальність теми. Сільське господарство в наш час перебуває в скрутному становищі. Високі ціни на паливо, добрива та насіння вимушують сільгоспвиробників заощаджувати на всьому іншому. В господарстві намагаються зберегти та утримати на належному рівні усю існуючу у господарстві техніку. Вихід із ладу однієї чи декількох одиниць техніки може поставити хрест на всій попередньо проведеній роботі господарства по вирощуванню культури. Щоб виключити ризики відмови машин в найвідповідальніший і найнавантаженіший період збирання врожаю, проводять планові технічні обслуговування, поточні ремонти та капітальні ремонти для того, щоб попередити та виключити ймовірну несправність чи навіть руйнування деяких базових деталей.

В більшості випадків руйнування деталей машин, обладнання, апаратів і елементів конструкцій розпочинається з поверхні (зношування, втома, контактні руйнування та ін.). Тому в багатьох випадках надійність та довговічність виробів залежить від якості, міцності та структурно-напруженого стану металу поверхневого шару деталей. За останні роки з'явилося багато нових способів дій на стан та якість твердих тіл, знайшли розвиток і широко застосовуються на практиці способи, які отримали назву технологічних методів поверхневого зміцнення. В основі багатьох із них лежить пластична або термопластична деформація металу відносно тонких поверхневих об'ємів при зберіганні незмінної серцевини. Технологічна якість деталей машин залежить насамперед від виду кінцевої обробки і застосовуваних технологічних параметрів. Під час кінцевої обробки формуються основні експлуатаційні властивості поверхневого шару, що здійснюють вплив на довговічність машин.

Однак навіть звичайну механічну обробку в багатьох випадках необхідно розглядати не тільки як метод отримання деталей необхідної форми, точності та мікрогеометрії поверхні, але як метод зміцнення деталей, які

істотно впливають на їх експлуатаційні характеристики. Характер зміни фізико-механічних властивостей по глибині деталі після будь яких способів поверхневої обробки або зміцнення дозволяє оцінити вплив так званої технологічної спадковості на формування кінцевих властивостей виробу. А це дає можливість, як показують дослідження деяких останніх десятиліть, без додаткових затрат підвищити довговічність деталей на 15-25 %, тільки завдяки застосування раціональних методів та режимів механічної обробки.

Аналіз перерахованих особливостей свідчить не тільки про новизну підходу до рішення проблеми довговічності, але і про його прогресивність, оскільки майже без зміни технологічного процесу виготовлення шестерень і виробничих витрат по коштам та часу, підвищується строк служби шестерень в 5-8 разів. Тому дослідження направлені на розробку технології для підвищення довговічності зубчастих коліс методами поверхневої пластичної деформації за допомогою роликів з пуансонами, є актуальними. А також подальша оптимізація режимів обкатування шестерень, які є підґрунтям процесу взагалі, є ще більш актуальною.

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 дослідження є розробка ефективної технології зміцнення зубів шестерень коробок передач тракторів за допомогою методів поверхнево-пластичного деформування. Вона спрямована на підвищення зносостійкості, міцності та довговічності зубчастих коліс, що використовуються у сільськогосподарській техніці, через зменшення їхньої шорсткості та поліпшення поверхневих властивостей.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз існуючих технологій обробки зубчастих коліс, зокрема методів поверхнево-пластичної деформації, для визначення їхніх переваг і недоліків.

- дослідити вплив процесу поверхнево-пластичного деформування на фізико-механічні властивості поверхні зубів, такі як шорсткість та втомна міцність, у порівнянні з іншими методами обробки.

- теоретично обґрунтувати застосування запропонованого методу обкатування зубів роликami для забезпечення ефективного зміцнення поверхневого шару.

- розробити конструкцію пристрою для чистового обкатування зубів шестерень тракторів із стабілізацією зусилля обкатування.

- провести експериментальні дослідження для підтвердження ефективності розробленої технології, зокрема шляхом вимірювання показників шорсткості та контактної міцності зубчастих коліс.

- оцінити економічну доцільність впровадження запропонованої технології у виробництво, зокрема провести аналіз необхідних капіталовкладень і передбачуваної економічної вигоди.

У результаті виконання досліджень очікується отримати технологію, що забезпечить підвищення довговічності та надійності роботи шестерень коробок передач тракторів, що сприятиме зниженню витрат на технічне обслуговування та ремонти.

Об'єкт дослідження – зуби шестерень коробок передач тракторів.

Предмет дослідження – процес зміцнення зубів шестерень коробок передач тракторів методами поверхнево-пластичного деформування з метою підвищення їх якості, зносостійкості та довговічності.

Методи досліджень. Для досягнення поставленої мети в дослідженні використовувалися такі методи: аналітичний метод – для аналізу науково-технічної літератури з питань зміцнення зубчастих коліс та застосування методів поверхнево-пластичного деформування; експериментальний метод – для проведення досліджень впливу поверхнево-пластичного деформування на фізико-механічні властивості зубів шестерень, включаючи їхню шорсткість та довговічність.

Статистичні методи використовувалися для обробки отриманих експериментальних даних, зокрема, для оцінки ефективності запропонованого методу обкатування роликами. Крім того, застосовувалися методи моделювання для розробки алгоритмів та структурних схем процесу обкатування, що дозволило забезпечити стабільність і якість обробки зубчастих коліс.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці та впровадженні нової технології зміцнення зубів шестерень коробок передач тракторів, що базується на методах поверхнево-пластичного деформування. Використання цієї технології дозволяє суттєво підвищити зносостійкість та довговічність зубчастих коліс, що забезпечує більш надійну та тривалу експлуатацію тракторів у сільськогосподарському секторі.

Застосування розробленої технології у виробничих процесах дозволить зменшити кількість ремонтів та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, що, у свою чергу, сприятиме зниженню експлуатаційних витрат. Крім того, впровадження технології може підвищити продуктивність ремонтних підприємств завдяки автоматизації процесів зміцнення та поліпшенню якості обробки поверхні деталей.

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. Проведений аналіз сучасного стану технології та технічних засобів для зміцнення шестерень коробок передач тракторів показав, що метод обкатування роликami є одним із найбільш ефективних способів підвищення ресурсу зубчастих коліс. Незважаючи на високу ефективність цього методу, існуючі пристрої характеризуються складною конструкцією і вимагають значних зусиль для забезпечення необхідної ефективності обробки. Літературний огляд також виявив відсутність робіт, що досліджують втомну витривалість зубів коліс з модулем 5-7 мм після зміцнення методами поверхневої пластичної деформації.

2. В результаті проведених експериментальних досліджень були визначені оптимальні конструкторсько-кінематичні параметри для обкатування зубів шестерень роликami. Ці параметри дозволяють знизити шорсткість робочих поверхонь зубів та покращити їхні експлуатаційні властивості.

3. Метод конічного обкатування на зубодовбальному верстаті показав значну перевагу, оскільки дозволяє знизити шорсткість робочої поверхні зубів у 2-3 рази. Це підвищує контактну міцність зубчастих коліс та забезпечує збільшення їх довговічності в 3-5 разів, що є важливим фактором для тривалої експлуатації тракторів у складних умовах.

4. Метод поверхневої пластичної деформації є простим та ефективним засобом підвищення якості деталей. Він демонструє високі результати на деталях, які працюють в умовах повторно-змінних навантажень. Ці методи можна легко контролювати та автоматизувати, що дозволяє застосовувати їх у виробничих процесах з високою ефективністю.

5. Важливим аспектом є майже необмежений вибір геометричних параметрів конструкцій для поверхневої пластичної деформації, що дозволяє вдосконалювати та збагачувати технології зміцнення. Це відкриває можливості для подальшого розвитку технологій на сучасному рівні.

6. Методи поверхневої пластичної деформації найчастіше застосовуються на фінішній стадії обробки деталей, що прямо впливає на їх кінцеву якість та вартість. Завдяки цьому методу досягається висока точність обробки, що значно підвищує експлуатаційні властивості зубчастих коліс.

7. Запропонована технологія обкатування зубчастих коліс роликami та кульками дозволяє суттєво знизити кількість браку при виготовленні та ремонті шестерень. Це сприяє зниженню експлуатаційних витрат на ремонт техніки та підвищенню її продуктивності.

8. Перевагою запропонованої технології є її універсальність: вона може бути впроваджена як на нових виробництвах, так і в умовах ремонтних підприємств, що значно розширює її застосування у різних галузях машинобудування.

9. Розроблений бізнес-план щодо впровадження технології обкатування зубчастих коліс показав, що підприємства з ремонту техніки можуть значно підвищити свою ефективність та рентабельність завдяки використанню сучасних технологій зміцнення поверхонь деталей. Економічний ефект від впроваджених технологій підтверджується рівнем рентабельності у 12,5% та терміном окупності капіталовкладень у 2,74 роки. Прогнозована виручка від надання ремонтних послуг становить 1 686,5 тис.грн., при чистому прибутку в розмірі 182,3 тис.грн. Ці показники підтверджують доцільність впровадження запропонованих методів і технологій для підвищення ефективності ремонтних робіт та стабільного розвитку 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. Тарасенко, В. О. Технологія машинобудування. Методи підвищення зносостійкості деталей. Київ: Наукова думка, 2002. 312 с.
3. Мазур, А. Ю. Сучасні методи зміцнення поверхонь деталей: теорія і практика. Харків : ХНАДУ, 2005. 256 с.
4. Семенченко, В. Г., Карпенко, Ю. П. Дослідження впливу технологічних процесів зміцнення на зносостійкість зубчастих передач. Науковий журнал машинобудування, 2010, №3, С. 24–31.
5. Григоренко, Г. І., Кузьменко, А. І. Матеріали та технології для виготовлення і зміцнення деталей машин. Львів : Техніка, 2011. 304 с.
6. Куценко, В. І. Машинознавство: основи виготовлення і відновлення деталей. Дніпро : Науковий світ, 2017. 220 с.
7. Захаренко, В. А., Олійник, Т. С. Сучасні матеріали та методи підвищення якості роботи зубчастих передач. Інженерна наука та виробництво, 2020, №5, С. 35–41.
8. Квасницький, В. П. Машинобудівні матеріали: властивості та застосування. Київ: Ліра-К, 2005. 432 с.
9. Singh, R., Verma, A. K. Advances in fatigue resistance through heat treatment in gear manufacturing. Materials Science Forum, 2021, 1032, pp. 45–51.
10. Остапенко, В. Г., Ковальчук, І. М. Технологія металів та конструкційні матеріали. Львів: Політехніка, 2010. 364 с.
11. Бойко, В. В. Основи термічної обробки матеріалів. Харків: ХНАДУ, 2012. 286 с.

12. Горбунов, М. К., & Власенко, Т. Л. Особливості застосування хромонікелевих сталей для зубчастих передач. Інженерний журнал, 2020, №6, С. 27–34.
13. Микитюк, А. С. Обробка металів тиском. Київ: Техніка, 2018. 330 с.
14. Паламарчук, М. А. Технологія машинобудування: дослідження зносостійкості матеріалів. Київ: Кондор, 2008. 412 с.
15. Smith, J. R., Zhang, L. Experimental advancements in the fatigue resistance of gear materials. Tribology International, 2018, 126, pp. 125–133.
16. Пономаренко, І. С. Матеріалознавство і техніка зміцнення деталей. Львів: Світ, 2012. 298 с.
17. Watanabe, H., Nakamura, Y. Surface engineering for enhancing gear longevity under high stress. Journal of Materials Science, 2021, 56(3), pp. 215–227.
18. Левченко, П. О. Методи та обладнання для дослідження зносостійкості металів. Дніпро: Технополіс, 2020. 325 с.
19. Дорошенко, І. Г., Мельник, В. Л. Вплив методів обробки на контактну міцність зубчастих передач. Машинобудування та матеріалознавство, 2022, №2, С. 18–26.
20. Коломієць, В. П., & Шевченко, М. О. Основи конструкційних рішень у машинобудуванні. Львів: Техніка, 2010. 312 с.
21. Чернов, П. І. Механіка та міцність матеріалів: обґрунтування вибору конструкцій. Харків: ХНАДУ, 2018. 320 с.
22. Anderson, J., Taylor, R. Innovations in gear surface strengthening using hydro-peening techniques. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 56(2), pp. 245–253.
23. Петренко, В. С. Сучасні технології конструювання: теорія і практика. Дніпро: Технополіс, 2021. 287 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. Тарасюк Г. М. Бізнес-план: розробка, обґрунтування та аналіз : навч. посіб. для студентів ВНЗ. Київ : Каравела, 2008. 280 с.
28. Барнич Ю.О. Бізнес-план підприємницької виробничої діяльності : навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 124 с.
29. 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.