

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ ДЕТАЛЕЙ
КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРІВ ТА АВТОМОБІЛІВ»**

Виконав:

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

ГОРДОВСЬКИЙ Назарій Вікторович

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. ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБКАТУВАННЯ НЕЖОРСТКИХ ВАЛІВ РОЛИКАМИ	13
1.1. Технологічна сутність, класифікація і призначення поверхневого пластичного деформування.....	15
1.2. Параметри стану поверхневого шару деталей машин	19
1.3. Вихідні вимоги до проектування технології зміцнення шліцевих деталей.....	31
2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ З КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРУЖЕНЬ.....	35
2.1. Зміцнююче обкатування тіл обертання з концентраторами напружень	35
2.2. Зміцнююче обкатування галтелей	36
2.3. Зміцнення галтелей чеканкою.....	42
2.4. Технологія зміцнення різьб	46
2.5. Зміцнення шліців	48
3. ПРОВЕДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБКАТУВАННЯ	53
3.1. Дослідження механічних властивостей обкатаного шару.....	53
3.2. Досліджування глибини пластичної деформації.....	58
4. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШЛІЦІВ ДЕТАЛЕЙ.....	65
4.1. Обґрунтування необхідності вдосконалення технології	65
4.2. Вимоги, які ставляться до розробки	65

4.3. Будова і принцип дії пристрою для обкатування шліців.....	66
4.4. Розрахунок пружини на шпильці пристрою	68
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	72
5.1. Значення охорони праці в сільському господарстві	72
5.2. Паспортизація робочого місця під час зміцнення шліцьових деталей.....	72
5.3. Розрахунок місцевої механічної вентиляції в приміщенні відновлення валів	75
5.4. Безпека у надзвичайних ситуаціях	77
6. РОЗРОБКА БІЗНЕС-ПЛАНУ	80
6.1. Резюме	80
6.2. Маркетинговий план	81
6.3. Виробничий план.....	87
6.4. Організаційний план	94
6.5. Визначення точки беззбитковості.....	94
6.6. Ризики та шляхи їх мінімізації.....	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	99
ДОДАТОК А Карта умов праці під час зміцнення шліцьових деталей	102
ДОДАТОК Б Операційний графік інвестиційного періоду	104
ДОДАТОК В Копії друкованих статей	105
ДОДАТОК Г Матеріали комп'ютерної презентації.....	106

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема підвищення опору втомлюваності матеріалу, контактному зминанню, контактній міцності, зносостійкості, які є найважливішими характеристиками, що визначають надійність і довговічність деталей машин і механізмів, стає все більш актуальною, оскільки постійно зростає інтенсивність роботи устаткування. Продовження терміну експлуатації деталей найекономічніше можна отримати за рахунок поліпшення властивостей їх поверхневого шару. Управління властивостями поверхні можна здійснювати за рахунок зміни структури металу поверхневого шару, а також його фізико-механічних властивостей.

Надійність та довговічність будь-якої машини в основному визначається двома компонентами. Один з них може бути обчислений з достатнім ступенем точності по відповідних формулах опору матеріалів або теорії пружності для різних деталей, розглянутих як балки, пластинки, плити, оболонки. Другий компонент - втомна витривалість - визначає здатність деталей, що перебувають у багаторазовому контакті, пручатися дії сил, що прагнуть їх деформувати та не руйнуватись з часом. Втомна витривалість залежить від ряду факторів, і в багатьох випадках її значення в загальному балансі надійності вузлів і всієї машини – велике. Наприклад, деталі які знаходяться під дією циклічних чи знакозмінних навантажень можуть раптово вийти з ладу (деталі двигуна, підвіски та ін.), що призводить до заміни деталі.

На ремонт та відновлення працездатності машин затрачаються великі матеріальні і трудові ресурси, це пояснюється низькою якістю поверхневого шару спряжених деталей машин, який складає долю відсотка від всієї маси деталей. Для підвищення довговічності машин вирішальне значення має зміцнення поверхні деталей в процесі їх виготовлення. В багатьох випадках працездатність деталей машин та обладнанням визначається головним чином їх опором контактному-втомному зносу та крихкому руйнуванню по причині втомленості матеріалу. Витрати на ремонт та технічне обслуговування

с/г машин в зв'язку із виходом з ладу в декілька разів перевищує їх початкову вартість. Аналіз показує, що у двадцяти п'яти випадках зі ста вихід із ладу машин і механізмів відбувається по причині втомленості матеріалу як правило в місцях концентрації напружень таких як галтелі, пази, щіли, різьби. Тому підвищення втомної витривалості матеріалу елементів машин і апаратів у місцях концентрацій напружень має велике значення для підвищення їх довговічності.

Механічні випробування в лабораторних умовах суттєво відрізняються від експлуатаційних. Цим пояснюються значні невідповідності між механічними характеристиками матеріалу, отриманими при випробуванні зразків, а також службовими якостями деталей машин і елементів конструкції.

Збільшення міцності і твердості металу поверхневим наклепом, а також приріст опорної поверхні при обкатуванні роликами дає можливість розглядати його як один із ефективних способів підвищення працездатності і виключно довговічності деталей машин.

Довговічність вузлів, які мають рухомий силовий контакт може бути збільшена як підвищенням витривалості матеріалу деталей, так і оптимізацією рельєфу контактних поверхонь. Технологічні методи обробки мають обмежені можливості впливу на параметри, які визначають витривалість матеріалу деталей, але можуть бути використанні для отримання сприятливого по відношенню до опору втомі розподіленню напружень деталей.

В зв'язку з цим, дослідження технології зміцнення шліцьових деталей коробок передач є надзвичайно важливим для підвищення надійності та довговічності техніки. Удосконалення властивостей поверхневого шару дозволяє значно зменшити знос деталей, що знижує витрати на ремонт і обслуговування машин.

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 даного дослідження є розробка ефективної технології зміцнення шліцьових деталей коробок передач тракторів та автомобілів шляхом використання методу поверхнево-пластичного деформування. Основним завданням є забезпечення підвищення довговічності та зносостійкості шліцьових елементів, що сприятиме збільшенню надійності транспортних засобів та зменшенню витрат на їх експлуатацію і технічне обслуговування. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- провести аналіз існуючих методів зміцнення шліцьових деталей, їх переваг і недоліків, зокрема методів поверхнево-пластичного деформування;
- розробити нову технологію, яка дозволить зменшити шорсткість та збільшити контактну міцність поверхневого шару шліців;
- провести експериментальні дослідження для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу поверхнево-пластичного деформування, зокрема величин навантаження і деформації, що забезпечують максимальне зміцнення поверхні деталей;
- встановити залежність між режимами обробки та утворенням залишкових напружень у поверхневому шарі деталей;
- розробити пристрій для виконання технологічного процесу зміцнення шліців, що забезпечить його стабільність і високу якість;
- провести оцінку економічної доцільності впровадження розробленої технології в серійне виробництво;

Таким чином, результати цього дослідження дозволять не тільки підвищити якість і надійність тракторів і автомобілів, але й зменшити експлуатаційні витрати, що є важливим для сільськогосподарської та транспортної галузей.

Об'єкт дослідження – шліцьові деталі коробок передач тракторів та автомобілів, що піддаються поверхневому зносу та руйнуванню внаслідок дії циклічних навантажень.

Предмет дослідження – технологія зміцнення шліцьових деталей коробок передач шляхом поверхнево-пластичного деформування для підвищення їх зносостійкості, втомної витривалості та довговічності.

Методи досліджень. Методи досліджень, використані в роботі, включають комплекс аналітичних, експериментальних та теоретичних підходів для досягнення поставлених завдань. На першому етапі було проведено аналітичний огляд науково-технічної літератури з метою визначення сучасних методів зміцнення шліцьових деталей коробок передач та виявлення основних недоліків існуючих технологій. Особливу увагу було приділено методу поверхнево-пластичного деформування та його можливостям щодо підвищення зносостійкості і втомної витривалості матеріалів. На основі цього аналізу було розроблено технологічний процес зміцнення деталей за допомогою поверхнево-пластичного деформування. Для визначення впливу різних режимів деформування на властивості поверхневого шару шліців були проведені експериментальні дослідження. В процесі експериментів вимірювалися такі показники, як шорсткість поверхні, твердість, залишкові напруження та зносостійкість. Також було проведено математичне моделювання процесу деформування для визначення оптимальних параметрів технологічного процесу, таких як навантаження, швидкість деформації та час обробки. Для аналізу отриманих експериментальних даних застосовувалися статистичні методи обробки результатів, що дозволило виявити найбільш ефективні режими зміцнення та встановити залежності між параметрами обробки та механічними властивостями зміцнених деталей.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені дослідження зміцнення шліців валів коробок передач на шорсткість та довговічність пар тертя встановили, що обробка поверхневого шару методом поверхнево-пластичного деформування забезпечує меншу шорсткість у порівнянні з існуючими методами обробки, при цьому значно збільшується ресурс роботи деталей машин.

Запропонована нова технологія чистового обкатування шліців валів коробок передач зі стабілізацією зусилля обкатування, забезпечує низьку шорсткість поверхні при відсутності помітної хвилястості. Для цього було розроблено пристрій для чистового обкатування шліців валів коробок передач.

Розроблений бізнес-план на впровадження розробленої технології зміцнення шліців валів коробок передач у виробництво з урахуванням необхідних капіталовкладень та поточних витрат. Розрахунки показали високу ефективність розробленого технологічного процесу.

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Аналіз сучасного стану технології та технічних засобів для обробки деталей методом обкатування роликом свідчить, що застосування цього методу є одним із ефективних способів стосовно підвищення ресурсу деталей машин та промислового обладнання. Існуючі пристрої відрізняються складною конструкцією які вимагають великих зусиль для забезпечення необхідної ефективності обробки та не забезпечують ефективних робочих показників в процесі експлуатації. Літературний огляд показав, що відсутні роботи і дослідження на втомну витривалість деталей з різьбленням та іншими концентраторами напружень деталей при зминанні чи зрізі.

2. Дослідження механічних властивостей і мікроструктури зразків показало, що обкатування валів із зусиллям 50,0 кН приводить до наклепу поверхневих шарів на глибину близько 8 мм при тороподібній формі роликів і на глибину 3 - 6 мм при циліндровій формі останніх, таких, що мають лінійний контакт з деталлю.

3. Виконані дослідження ефективності зміцнення деталей з концентраторами, працюючих у важких умовах, обкатуванням їх роликами. Дослідження показали, що обкатування роликами поверхонь, що працюють при змінних навантаженнях, є ефективним засобом підвищення їх довговічності. Особливо високий ефект зміцнення основи навантажених витків різьб та зубчастих коліс (довговічність зростає в 10-14 разів), деформація яких супроводиться усуненням недосконалості їх структури (пір, раковин і т.п.), яка часто буває в поверхневому шарі галтелей, різьб, шліців, деталей двигунів та підвіски.

4. В результаті проведення експериментальних досліджень з'ясовані оптимальні конструкторсько-кінематичні параметри. Перевагою пристрою для зміцнення різьбових деталей та шліців є врівноваженість осьової складової зусилля обкатування при обкатуванні основи різьблень гвинтових валів на токарному верстаті.

5. Розроблений бізнес – план показав, що виручка від реалізації послуг складатиме 1885 тис. грн. Річний чистий прибуток підприємства становитиме 327,71 тис. грн, що підтверджує економічну доцільність проєкту. Термін окупності матеріальних витрат оцінюється в 2,87 року, а точка беззбитковості настане при виконанні 89 ремонтів на рік, що становить 22% від запланованого завантаження виробничих потужностей.

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. Семенченко, В. Г., Карпенко, Ю. П. Дослідження впливу технологічних процесів зміцнення на зносостійкість зубчастих передач. Науковий журнал машинобудування, 2010, №3, С. 24–31.
3. Мазур, А. Ю. Сучасні методи зміцнення поверхонь деталей: теорія і практика. Харків : ХНАДУ, 2005. 256 с.
4. Тарасенко, В. О. Технологія машинобудування. Методи підвищення зносостійкості деталей. Київ: Наукова думка, 2002. 312 с.
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. Квасницький, В. П. Машинобудівні матеріали: властивості та застосування. Київ: Ліра-К, 2005. 432 с.
8. Singh, R., Verma, A. K. Advances in fatigue resistance through heat treatment in gear manufacturing. Materials Science Forum, 2021, 1032, pp. 45–51.
9. Захаренко, В. А., Олійник, Т. С. Сучасні матеріали та методи підвищення якості роботи зубчастих передач. Інженерна наука та виробництво, 2020, №5, С. 35–41.
10. Остапенко, В. Г., Ковальчук, І. М. Технологія металів та конструкційні матеріали. Львів: Політехніка, 2010. 364 с.
11. Горбунов, М. К., & Власенко, Т. Л. Особливості застосування хромонікелевих сталей для зубчастих передач. Інженерний журнал, 2020, №6, С. 27–34.

12. Бойко, В. В. Основи термічної обробки матеріалів. Харків: ХНАДУ, 2012. 286 с.
13. Микитюк, А. С. Обробка металів тиском. Київ: Техніка, 2018. 330 с.
14. Smith, J. R., Zhang, L. Experimental advancements in the fatigue resistance of gear materials. *Tribology International*, 2018, 126, pp. 125–133.
15. Паламарчук, М. А. Технологія машинобудування: дослідження зносостійкості матеріалів. Київ: Кондор, 2008. 412 с.
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. Гаврилюк, В. С. Інженерна триботехніка. Харків: ХНУРЕ, 2015. 310с.
19. Левченко, П. О. Методи та обладнання для дослідження зносостійкості металів. Дніпро: Технополіс, 2020. 325 с.
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. Дорошенко, І. Г., Мельник, В. Л. Вплив методів обробки на контактну міцність зубчастих передач. *Машинобудування та матеріалознавство*, 2022, №2, С. 18–26.
23. 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.
24. Петренко, В. С. Сучасні технології конструювання: теорія і практика. Дніпро: Технополіс, 2021. 287 с.
25. Охорона праці в Україні. Нормативні документи. Київ : КНТ, вид-во, 2004. 438 с.
26. Москальова В. М. Основи охорони праці : Підручник. Київ : Професіонал, 2005. 672 с.

27. Ярошевська В. М. Безпека життєдіяльності : [підруч. для студ. ВНЗ]. Київ : Професіонал, 2004. 560 с.
28. Тарасюк Г. М. Бізнес-план: розробка, обґрунтування та аналіз : навч. посіб. для студентів ВНЗ. Київ : Каравела, 2008. 280 с.
29. Барнич Ю.О. Бізнес-план підприємницької виробничої діяльності : навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 124 с.
30. 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.