

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПИРОГОВ ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.867.42:621.9.048.4

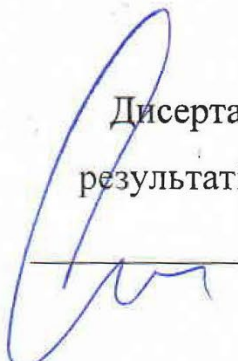
ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ
КОМБІНОВАНИМИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ
МЕТОДАМИ**

133 – Галузеве машинобудування
13 – Механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



В.О. Пирогов.

Науковий керівник

Тарельник В'ячеслав Борисович,
доктор технічних наук, професор

СУМИ - 2023

АНОТАЦІЯ

Пирогов В.О. Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення комбінованими екологічно безпечними технологічними методами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2023.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми в області галузевого машинобудування: розробці інноваційних, короткотривалих, енергоощадних та екологічно безпечних технологій поверхневого зміцнення та ремонту деталей насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечити підвищення надійності та довговічності машин за рахунок збільшення терміну служби їхніх робочих органів, при зниженні енерговитрат, що дуже важливо для сучасної України.

Об’єкт дослідження – технологічний процес формування функціональних покриттів на поверхні деталей насосних агрегатів та їхніх елементів, задіяних в системах зрошення.

Предмет дослідження – закономірності технологічного процесу формування поверхневого шару із заданими експлуатаційними властивостями, що забезпечують необхідну якість (довговічність, екологічну безпеку, зносостійкість, працездатність) деталей насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення.

Метою роботи є підвищення довговічності насосних агрегатів, що використовують в зрошувальному землеробстві, шляхом удосконалення технології виготовлення та відновлення їхніх деталей за рахунок використання ефективних та екологічно безпечних технологій формування захисних покриттів та модернізації приводу і з’єднувальної муфти.

Завдання для дослідження:

1. Розробити систему спрямованого вибору технології нанесення бабітового покриття на вкладиші ПК.
2. Удосконалити технологію зміцнення та відновлення поверхонь валів, що зношуються в процесі роботи відцентрових насосів, за рахунок використання екологічно безпечних технологій ЕІЛ, ППД і нанесенням МПМ та їх комбінацій.
3. Розробити математичну модель зносу бабітових покриттів вкладишів ПК.
4. Розробити математичну модель відновлення бабітових покриттів вкладишів ПК.
5. Провести модернізацію насосних агрегатів шляхом заміни зубчастої муфти на більш прогресивну пружну муфту з гнучкими елементами.
6. Розробити і впровадити у виробництво нову екологічно безпечну технологію виготовлення та відновлення деталей насосних агрегатів, які використовують в зрошувальному землеробстві.

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертації та наукових завдань, сформульовані мета та завдання дослідження, визначені наукова новизна й практичне значення одержаних результатів, а також подана інформація про апробацію, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі на підставі аналізу будови машин системи зрошувального землеробства України, задіяних в різних способах введення води в ґрунт, було показано, що найбільш важливими і відповідальними для забезпечення якісного зрошування є НА, складовими частинами якого є електродвигуни, муфти і відцентрові насоси.

Було вказано, що всі вузли і деталі НА працюють у важких умовах абразивного, корозійного та інших видів зносу. Методи виготовлення і ремонту деталей є екологічно небезпечними, а окремі вузли, потребують модернізації. Все це дозволило сформулювати мету й завдання для проведення досліджень.

У другому розділі з метою підвищення надійності та довговічності НА розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної та найбільш раціональної технології підвищення якості поверхонь їхніх деталей. При цьому враховують усі стадії їхнього життєвого циклу, а також економічні та екологічні вимоги.

На підставі встановленої кореляційної залежності між зносом бабітових покриттів підшипників ковзання (ПК) відцентрових насосів та роботою, затраченою на тертя, запропоновано фізично обґрунтовану математичну модель процесу зносу (рівняння зносу), яка дозволяє вирішувати як пряму задачу – визначати ваговий та лінійний знос за відомою роботою тертя, так і зворотну – знаходити необхідну роботу тертя для отримання того чи іншого зносу. Знаючи час досягнення певної величини зносу, з'являється можливість більш раціональної експлуатації виробів, своєчасно призначаючи час ремонту не допускаючи до катастрофічного зносу поверхню тертя. В процесі виконання досліджень розроблено методику визначення констант рівняння зносу: енергії активації (E_A), а також максимального вагового та лінійного зносу, які можуть бути використані, як критерії вибору найбільш раціональної технології нанесення бабітового покриття.

Третій розділ присвячений методиці експериментальних досліджень впливу різних технологій на якість поверхонь деталей НА, задіяних в системі зрошувального землеробства. Були розглянуті особливості технології ЕІЛ при реновації бабітових покриттів ПК відцентрових насосів НА. Розроблено гаму методів, спрямованих на удосконалення поверхневих шарів деталей НА як при виготовленні так і при реновації. При цьому, переважно використовували комбінації з екологічно безпечних та мало затратних методів: ЕІЛ, обробка кулькою (ОК), безабразивна ультразвукова фінішна обробка (БУФО), нанесення МПМ.

Стійкість шийок валів під ПК і бабітових покриттів, нанесених за різною технологією, оцінювали по втраті ваги та зменшені товщини зразка на машині

тертя СМЦ-2 за схемою «диск-колодка, а відносну зносостійкість зразків для відновлення посадкових поверхонь валу – «диск – плоский зразок».

У четвертому розділі з метою підвищення надійності та довговічності НА, запропоновано ряд нових технологій покращення якості поверхневих шарів їхніх деталей. Так, удосконалений метод ЦЕЛ підшипникових шийок валів роторів відцентрових насосів, при якому в сталі 20 зменшується шорсткість поверхні з $R_a = 9,0$ до $3,2$ мкм; збільшуються суцільність легованого шару з 80 до 100%, глибина дифузійної зони вуглецю з 35 до 70 мкм, мікротвердість «білого» шару і його товщина відповідно з 8492 до 10796 МПа і з 60 до 230 мкм. При заміні сталі 20 на сталь 40Х і 30Х13 мікротвердість «білого» шару і його товщина збільшується, відповідно до 11823 і 10991 МПа та 240 і 240 мкм. Запропонований новий спосіб сульфомолібденування методом ЕІЛ шийок валів ПК, використання якого при енергії розряду $W_p = 3,4$ Дж призводить до появи в поверхневому шарі сталі 40 до 30% мартенситної фази, до 6% залишкового аустеніту (ГЦК фази), а також до 5% дисульфиду молібдену. Було запропоновано новий спосіб формування методом ЕІЛ на посадочних поверхнях валів зносостійких покриттів складу Al-C-B, при нанесенні яких з підвищенням енергії розряду збільшується мікротвердість «білого» шару: при $W_p = 0,13$ Дж - $H_{\mu} = 6487$ МПа, а при $W_p = 4,9$ Дж - 12350 МПа.

Порівняльними дослідженнями на машині тертя СМЦ-2 встановлено, що для підшипникових шийок валів ваговий та лінійний знос круглих зразків з шліфованої сталі 40Х більший чим сталі 30Х13, відповідно в 1,15 і 1,09 рази. Найменший ваговий і лінійний знос у зразків зі сталі 30Х13 з покриттям складу (Mo+S) і БУФО складає, відповідно $0,013 \cdot 10^{-3}$ кг і 0,90 мкм. Для посадкових шийок валів найкращу зносостійкість показали зразки зі сталі 30Х13, зміцнені в послідовності ЕІЛ (Al-C-B) → БУФО, ваговий і лінійний знос яких після 8 годин випробувань склав, відповідно, $0,105 \cdot 10^{-3}$ кг і 1,645 мкм.

У п'ятому розділі розроблені технологічні рекомендації з впровадження результатів проведених досліджень у виробництво.

Для відновлення, зруйнованого після перешліфовки підшипникової шийки, шару підвищеної твердості, запропонований новий екологічно безпечний спосіб нітроцементзації, який включає ЦЕЛ, що супроводжується подачею в зону легування азоту. Процес нітроцементзації характеризується підвищенням мікротвердості з 10500 до 10600 МПа, плавним зниженням її у перехідній зоні, збільшенням глибини зони підвищеної твердості з 120 до 150 мкм, а також зменшенням шорсткості поверхні Ra, з 0,7 до 0,6 мкм.

Запропоновано новий екологічно безпечний спосіб формування зносостійких товстошарових комбінованих електроіскрових покриттів на зношених поверхнях посадкових шийок валів роторів відцентрових насосів, який дозволяє формувати відновлені поверхневі шари товщиною 1,5 мм, суцільністю 100 %, мікротвердістю 10100 МПа і шорсткістю Ra=1,2 мкм. Товщину покриття можна збільшити за рахунок нанесення методом ЕІЛ перед ЦЕЛ сталі 08X15H5Д2Т.

З метою покращення ремонту ПК: виявлені залежності характеристик якості поверхневих шарів бабітових покриттів, відновлюваних методом ЕІЛ від енергії розряду, що дозволило проводити реновацію виробів з бабітовими покриттями; запропоновані фізично обґрунтовані математичні моделі (рівняння масопереносу та прогнозування шорсткості поверхневого шару), що дозволяє за енергетичними параметрами обладнання ЕІЛ визначати основні технологічні параметри якості сформованого шару: кількість перенесеного матеріалу, збільшення його товщини та шорсткість поверхні; розроблено методику визначення констант рівнянь масопереносу (енергії активації процесу масопереносу, привіску ваги та приросту товщини нанесеного шару, а також рівняння прогнозування шорсткості поверхні (максимальної шорсткості та енергії активації процесу її формування), які можуть служити критеріями вибору найбільш раціональної технології реновації бабітових покриттів.

У результаті аналізу умов експлуатації технологічного обладнання, задіяного в технологічному циклі зрошення запропоновано проблеми герметичності підшипникових вузлів приводів НА, було вирішено за рахунок їх

модернізації шляхом впровадження нового типу ущільнень – магніторідинних герметизаторів.

З метою заміни традиційних зубчастих і втулично-пальцевих муфт, що використовують в НА, задіяних в технологічному циклі зрошення, на пружні муфти (ПМ) з гнучкими елементами, які у порівнянні з вище названими, мають ряд важливих переваг: можливість компенсувати радіальні неспіввісності і перекоси валів приводу і агрегату, безшумні в роботі, не вимагають мастила і обслуговування в процесі експлуатації, були проведені дослідження направлені на удосконалення останніх. Дослідженнями зносостійкості гнучких елементів ПМ, сформованих в пакети за новим способом, встановлено, що при застосуванні металомастильних матеріалів у вигляді парафіну з добавками з міді, дисульфиду молібдену і графіту, знос від фретинг-корозії (Ф-К), у порівнянні з прототипом, зменшується на 50%. Для захисту від Ф-К кріпильних деталей ПМ запропонований спосіб епіламування після якого параметри шорсткості поверхонь (R_a , R_z і R_{max}), оброблених методом епіламіювання, у порівнянні з необробленими, знизилась, відповідно, в 1,55; 1,53 і 1,39 рази. Запропонований спосіб не тільки значно підвищує зносостійкість сполучених деталей, а і знижує собівартість процесу.

Отриманні в дійсній роботі технологічні рішення, що використовуються екологічно і техногенно безпечними методами, впроваджені на Комунальному підприємстві «Міськводоканал» Сумської міської ради; ПАТ «Сумхімпром» та ТОВ «ТРІЗ ЛТД», м. Суми із загальним очікуваним економічним ефектом 856000 (вісімсот п'ятдесят шість тисяч) гривен.

Відповідно до поставленої мети та задач у роботі отримані такі **результати:**

1. Аналіз сучасного стану інженерної інфраструктури системи зрошувального землеробства в південних регіонах України виявив безліч значних недоліків, пов'язаних з недостатнім розумінням ролі технічної підсистеми, проблемами з кадровим персоналом, некомпетентною експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом устаткування, які в результаті

стримують використання екологічно безпечних і ресурсозберігаючих технологій, без яких неможливо отримувати високорентабельну продукцію з низькою собівартістю. Результатом, представлених в роботі досліджень, стала низка комбінованих екологічно безпечних технологій, застосування яких дає можливість усунути означені вище недоліки та провести модернізації обладнання зрошувальних систем.

2. Для забезпечення стабільної і безаварійної роботи НА, які використовують при зрошенні, удосконалена технологія забезпечення необхідних параметрів якості підшипникових і посадкових шийок валів ВН, що досягається за рахунок використання екологічно безпечних методів ЕІЛ, ППД і нанесення МПМ. Так, для підшипникових шийок валів роторів ВН запропоновані нові способи цементації та нанесення сульфомолібденових покриттів (*патенти України на корисну модель № 142822 і 144932*), використання яких крім зниження шорсткості поверхні з $Ra = 8,3$ до $3,2$ мкм, збільшення суцільності легованого шару з 80 до 100%, товщини «білого» шару з 60 до 230 мкм і його мікротвердості до 10796 МПа при цементації, при нанесенні сульфомолібденових покриттів забезпечує мікротвердість «білого» шару до 10731 МПа і наявність в поверхневому шарі до 5% дисульфиду молібдену. Для реновації зруйнованого шару шийок ПК запропонований екологічно безпечний спосіб нітроцементації, використання якого забезпечує створення зміцненого шару до 150 мкм з мікротвердістю на поверхні до 10600 МПа і зменшення шорсткості, Ra до $0,6$ мкм.

Для виготовлення посадкових шийок валів запропонований новий спосіб зміцнення їхніх поверхонь методом ЕІЛ, шляхом нанесення покриттів складу Al-C-B, а для їхньої реновації після зношування новий екологічно безпечний спосіб нанесення КЕП, товщина яких сягає більше 1,5 мм, суцільність досягає 100 %, мікротвердість 10100 МПа і шорсткість $Ra=1,20$ мкм (*патенти України на корисну модель № 148495, 141919 і 141920*).

3. Виявлена кореляційна залежність зносу бабітових вкладишів ПК від роботи тертя, що дало можливість розробити математичну модель (рівняння

зносу), при використанні якої можливо вирішувати, як пряму задачу – знаходити величину зносу бабітового покриття, нанесеного різними методами по відомій роботі тертя, так і зворотну – визначати необхідну роботу для зношування певної кількості бабітового покриття. Запропонована методика визначення констант рівняння зносу стала певними критеріями при визначенні більш раціональної технології нанесення бабітових покриттів вкладишів ПК.

4. Була удосконалена технологія реновації вкладишів бабітових ПК, шляхом встановлення кореляційної залежності між енергетичними режимами ЕІЛ і параметрами якості нанесених поверхневих бабітових шарів (товщиною, нанесеного шару бабіту та шорсткістю сформованого шару), що дозволило розробити математичні моделі (рівняння масопереносу та рівняння прогнозування параметрів шорсткості поверхневого шару), при використанні яких можливо вирішувати, як пряму задачу – по відомим параметрам товщини бабітового шару, необхідного для відновлення зношеної ділянки поверхні і його шорсткості визначати необхідні для цього енергетичні параметри обладнання ЕІЛ, так і зворотну – по відомим енергетичним параметрам обладнання ЕІЛ визначати параметри якості поверхневого бабітового шару (товщину і шорсткість), який буде сформований. Також запропонована методика визначення констант рівняння масопереносу та рівняння прогнозування параметрів шорсткості поверхневого шару, які є певними критеріями при визначенні більш раціональної технології відновлення зношених поверхонь бабітових покриттів вкладишів ПК.

5. Для можливості використання пружних муфт в НА, задіяних в зрошувальному землеробстві були удосконалені технології захисту поверхонь їхніх деталей від Ф-К (*патенти України на корисну модель №151426 і 142811*). Так поверхні гнучких елементів покривають мастильним матеріалом, в склад якого запропоновано додатково вводить порошок з графіту, що забезпечує до 50% зменшення їх зношування, а кріпильні деталі муфти обробляють в середовищі епіламу, що дозволяє до 3 разів зменшити коефіцієнт тертя і як результат знизити процес Ф-К.

6. Екологічно безпечні, енергоощадні комбіновані технології виготовлення та реновації деталей НА зрошувального землеробства, захищені 11 патентами України і впроваджені у виробництво з очікуваним економічним ефектом 856 тис. грн.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше науково обґрунтовано та узгоджено параметри розробленої системи спрямованого вибору найбільш ефективних, екологічно та техногенно безпечних технологій підвищення якості поверхневих шарів деталей, при виготовленні насосних агрегатів (НА).

2. Вперше на підставі встановлених кореляційних залежностей між роботою тертя та зносом поверхневих шарів бабітових покриттів, сформованих різними способами на вкладишах підшипників ковзання (ПК), фізично обґрунтовано функціональні зв'язки між основними параметрами процесу зносу (рівняння зносу), що дозволяє по роботі тертя визначати лінійний та ваговий знос бабітового покриття, а також вирішувати зворотну задачу, що дозволяє знайти величину роботи тертя, необхідну для здійснення зносу певної кількості речовини або для отримання необхідного лінійного зносу.

3. Вперше аналітично описано як процес руйнування так і відновлення бабітового покриття підшипників ковзання.

4. Вперше для різних матеріалів пар тертя (бабітовий вкладиш – шийка ПК) обґрунтовано розроблену методику визначення констант рівняння зносу: найбільшого вагового та лінійного зносу, відповідно ($\Delta m_{\max}$) та ($\Delta h_{\max}$), а також енергію активації процесу зношування E_A , які можуть бути критеріями вибору найбільш раціональної технології підвищення довговічності ПК.

5. Вперше обґрунтовано розроблений і апробований новий спосіб цементації методом ЕІЛ сталей поверхонь при якому легування вуглецем відбувається компактним електродом-інструментом з графіту та графітовим порошком, що дозволяє в порівнянні з аналогами зменшити шорсткість поверхні з $R_a = 8,3-9,0$ до $3,2-4,8$ мкм; збільшити суцільність легованого шару з 80 до

100%; мікротвердість «білого» шару і його товщину, відповідно з 8492 до 10796 МПа і з 60 до 230 мкм (*патент України на корисну модель № 142822*).

6. Вперше встановлені взаємозв'язки між параметрами обладнання ЕІЛ та параметрами якості поверхневих шарів деталей, що дозволило на сталюу поверхню наносити методом ЕІЛ сульфомолібденове покриття, яке у своєму складі містить до 5% дисульфиду молібдену (MoS_2), який є сухою змащувальною речовиною і наявність якого в поверхневому шарі встановлено рентгеноструктурним аналізом (*патент України на корисну модель №144932*).

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці ряду технологічних рекомендацій виготовлення, реновації та модернізації деталей і вузлів НА, задіяних в системах зрошувального землеробства, використання яких дозволить збільшити їх надійність та довговічність. Отриманні в роботі технологічні рішення, захищені 11 патентами і впроваджені на Комунальному підприємстві «Міськводоканал» Сумської міської ради; ПАТ «Сумхімпром» та ТОВ «ТРІЗ ЛТД», м. Суми із загальним очікуваним економічним ефектом 856000 (вісімсот п'ятдесят шість тисяч) гривен.

Розробки, які виконані в дисертаційній роботі, впроваджені в навчальний процес кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Матеріалознавство і ТКМ», «Технологія машинобудування в галузі» і «Триботехнологія», а також кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського Сумського державного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Трибомеханіка та основи контактної механіки» і «Конструкції та розрахунок підшипників ковзання» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг в механіці»).

Основні результати дисертаційної роботи, їхні узагальнення, викладені наукові положення та висновки, що становлять сутність роботи, отримані та сформульовані автором самостійно.

Ключові слова: герметичність, підшипник ковзання, шийки валів, поверхневий шар, мікротвердість, шорсткість, знос, сплав, модернізація,

електроіскрове легування, магніторідинний герметизуючий комплекс, механічні властивості, структура, безпека, комбіноване покриття.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. **Пирогов В.О.** Модернізація приводу насосних станцій трубопроводів // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу - 2022. - №73. – С. 50-56. DOI:10.31471/1993-9965-2022-1(52)-50-56

2. Тарельник В.Б. Підвищення довговічності валів відцентрових насосів комбінованими методами / В.Б. Тарельник, **В.О. Пирогов** // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 2 (6) 2022. – С. 79–87. – ISSN 2079-004X, DOI: 10.20998/2079-004X.2022.2(6).11.

Здобувачем представлені результати порівняльних випробувань на зносостійкість зразків з різним покриттям.

3. Тарельник В.Б. Реновація шийок підшипників ковзання валів відцентрових насосів для зрошення / В.Б. Тарельник, М.Ю. Думанчук, Н.В. Тарельник, Т.П. Волошко, **В.О. Пирогов** // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. - № 1(47). – 2022. – С.43-49.

Здобувачем проведений аналіз існуючих технологічних методів відновлення зношених поверхонь деталей.

4. Думанчук М.Ю., Тарельник Н.В., Пирогов В.О. Вдосконалення технологічних методів захисту гнучких елементів пружних муфт від фретинг-корозії // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк. - 2022. - №73. – С. 149-156.

Здобувачем запропоновано застосування металоплакуючих графітовмісних мастильних матеріалів та визначений їх раціональний склад.

5. Тарельник В.Б., Пирогов В.О. Підвищення довговічності насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення, комбінованими екологічно безпечними технологічними методами // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, – №2(48) – 2022. С. 66-75.

Здобувачем розроблена нова технологія відновлення бабітових покриттів, яка може бути використана для опорних підшипників ковзання.

6. V. B. Tarellyk, O. P. Gaponova, Ie. V. Konoplianchenko, N. V. Tarellyk, M. Y. Dumanchuk, M. O. Mikulina, V. O. Pirogov, S. O. Gorovoy, and N. K. Medvedchuk, Development the Directed Choice System of the Most Efficient Technology for Improv-ing the Sliding Bearings Babbitt Covers Quality. Pt. 1. Peculiarities of Babbitt Coat-ing Technologies, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 44, No. 1:1475–1493 (2022) (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/mfint.44.11.1475>

Здобувачем проведений аналіз переваг та недоліків більш поширених метод нанесення антифрикційних покриттів на елементи підшипників ковзання.

7. V. B. Tarellyk, O. P. Gaponova, Ie. V. Konoplianchenko, N. V. Tarellyk, M. Y. Dumanchuk, V. O. Pirogov, T. P. Voloshko, and D. B. Hlushkova, Development the Directed Choice System of the Most Efficient Technology for Improving the Sliding Bearings Babbitt Covers Quality. Pt. 2. Mathematical Model of Babbitt Coatings Wear. Criteria for Choosing the Babbitt Coating Formation Technology, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 44, No. 12: 1643–1659 (2022) (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.44.12.164

Здобувачем розроблено систему спрямованого вибору технології нанесення бабітового покриття на вкладиші підшипників ковзання.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Ie. Konoplianchenko, V. Tarellyk, Vas. Martsynkovskyy, O. Gaponova, A. Lazarenko, A. Sarzhanov, M. Mikulina, Zh. Zhengchuan, V. **Pirogov**. New technology for restoring Babbitt coatings. Journal of Physics: Conference

Series. **1741** (2021) pp. 012040-1 – 012040-15. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012040> (SCOPUS & WoS)

Здобувачем удосконалена технологія відновлення бабітових покриттів підшипників ковзання.

9. Пирогов В.О. Забезпечення протидії фреттинг-корозії деталей пар тертя / В.О. Пирогов // ТЕХНОЛОГІЇ ХХІ СТОРІЧЧЯ. Збірник тез за матеріалами 27-ої міжнародної науково-практичної конференції (24-26 листопада 2021 р.) Частина 1 «Прогресивні технології в промисловості» Суми – 2021.- С. 236-237.

Здобувачем удосконалена технологія захисту гнучких елементів пружних муфт від фреттинг-корозії.

10. Пирогов В.О. Проблеми підвищення якості машин, задіяних в технологічному циклі зрощення / В.О. Пирогов // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції (м. Суми, 29 вересня – 1 жовтня 2021 року) / С. 75-78.

Здобувачем запропоновано при удосконаленні параметрів якості поверхневих шарів деталей НА використовувати екологічно безпечні технології.

11. Тарельник В.Б. Технологічне забезпечення процесу відновлення бабітового покриття на етапі ремонту підшипникових вузлів роторних машин/ В.Б. Тарельник, Є.В. Коноплянченко, В.О. Пирогов В.О., Чжан Чженчуань // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції (м. Суми, 29 вересня – 1 жовтня 2021 року) / С. 88, 89.

Здобувачем удосконалена технологія відновлення бабітових покриттів підшипників ковзання.

12. Тарельник В. Б., Думанчук М. Ю., Пирогов В. О. Застосування системного підходу для управління якістю поверхневих шарів деталей насосних агрегатів // The 5th International scientific and practical conference —Modern research in world science (August 7-9, 2022) SPC —Sci-conf.com.ua, Lviv, Ukraine. 2022. pp. 256-262.

Здобувачем запропоновано використовувати системний підхід для керування якістю поверхонь деталей на всьому етапі їх життєвого циклу.

13. Тарельник В.Б. Критерії вибору технології нанесення бабітових покриттів підшипників ковзання роторних машин/ В.Б. Тарельник, В.О. Пирогов //Матеріалознавство та технології: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Харків : ХНАДУ, 2022. – С. 61-70.

Здобувачем запропоновано використовувати в якості критеріїв при виборі технології нанесення бабітових покриттів використовувати енергію активації процесу зношення і максимальний знос.

Список патентів:

1. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях : пат. 142338 України на корисну модель, МПК (2020.01), В23Н 5/00, В23Н 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Саржанов Б. О., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д., Гапон О.О. ; заявл. 11.01.2020 ; опубл. 25.05.2020, Бюл. №10. 10 с.

Здобувачем запропоновано методику проведення досліджень.

2. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей : пат. 141919 України на корисну модель, МПК (2020.01) В23Н 5/00, В23Н 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 27.12.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. 8 с.

Здобувачем запропоновано комбіновані електроіскрові покриття обкатувати кулькою.

3. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей : пат. 141920 України на корисну модель, МПК (2020.01) В23Н 5/00, В23Н 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 27.12.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. 9 с.

Здобувачем запропоновано комбіновані електроіскрові покриття обкатувати кулькою.

4. Спосіб цементації сталевих деталей електроіскровим легуванням : пат. 142822 України на корисну модель, МПК (2020.01) C23C 8/00, C23C 28/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О. М., Пирогов В. О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д. ; заявл. 11.02.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 8 с.

Здобувачем запропоновано при цементації сталевих деталей електроіскровим легуванням використовувати порошок графіту.

5. Спосіб захисту деталей пари тертя пружної муфти від фреттинг-корозії: пат. 142811 України на корисну модель : МПК (2020.01), C23F 15/00, F01D 5/28 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Думанчук М. Ю., Коноплянченко Є. В., Гапонова О. П., Тарельник Н. В., Пирогов В. О., Гапон О. О. ; заявл. 05.02.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 8 с.

Здобувачем запропоновано оброблять кріпильні деталі пружної муфти обробляти епіламом.

6. Спосіб формування покриття на поверхні сталевих деталей методом електроіскрового легування: пат. 144932 України на корисну модель, МПК (2020.01), B23H 1/00, B23H 9/00, C23C 4/00, C23C 6/00, C23C 8/60 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О. М., Пирогов В. О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д. ; заявл. 26.02.2020 ; опубл. 10.11.2020, Бюл. № 21. 15 с.

Здобувачем запропоновано при формуванні на поверхні сталевих деталей зносостійких покриттів методом ЕІЛ використовувати сірку.

7. Спосіб зміцнення поверхонь сталевих деталей пар тертя: пат. 148495 України на корисну модель, МПК (2021.01) B23H 1/00 B23H 7/00 C23C 10/48 (2006.01) C23C 8/70 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О.М., Коноплянченко Є.В. Тарельник Н.В., Саржанов О.А., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д., Зенкін М.А., Волошко Т.П. ; заявл. 23.04.2021 ; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 32. 11 с.

Здобувачем запропоновано при відновлюванні посадочних шийок валів використовувати комбіновані покриття складу Al-C-B.

8. Спосіб формування пакетів гнучких елементів пружних муфт: пат.)151426 України на корисну модель : МПК (2022.01) F16D 3/56 (2006.01) C10M 103/02 (2006.01) C10M 111/00 / Марцинковський В. С., Думанчук М. Ю., Тарельник Н. В., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д.; заявл. 25.01.2022; 20.07.2022, Бюл.№ 29. 8 с.

Здобувачем запропоновано для захисту гнучких елементів пружних муфт від фреттинг-корозії використовувати порошок графіту.

9. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 148005 України на корисну модель, МПК (2021.01), B23H 1/00, B23H 5/00, F16C 33/04 (2006.01) C23C 8/00 C23C 4/00 C23C 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25. 12 с.

Здобувачем запропоновано для обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання використовувати сірку.

10. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 148006 України на корисну модель, МПК (2021.01), B23H 1/00, B23H 5/00, F16C 33/04 (2006.01) C23C 8/00 C23C 4/00 C23C 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25. 12 с.

Здобувачем запропоновано для обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання використовувати сірку.

11. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 126517 України на винахід, МПК (2021.01), B23H 1/00, B23H 5/00, F16C 33/04 (2006.01) C23C 8/00 C23C 4/00 C23C 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як

Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 19.10.2021, Бюл. № 42. 12 с.

Здобувачем запропоновано для обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання використовувати сірку.

ABSTRACT

Pirogov V.O. Increasing the durability of pumping units for irrigation combined ecologically safe technological methods.—Qualification scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining a scientific degree Doctor of Philosophy in the field of knowledge 13 - Mechanical Engineering with a specialty 133 - Industrial Mechanical Engineering. – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2022.

The dissertation is dedicated to the solution of an actual scientific and technical problem in the field of mechanical engineering: the development of innovative, short-term, energy-saving and environmentally safe technologies for surface strengthening and repair of parts pump units used in irrigation systems. Solving this problem will allow to increase the reliability and durability of machines by increasing the service life of their working bodies, while reducing energy consumption, which is very important for modern Ukraine.

Object of study- technological process the formation of functional coatings on the surface of parts of pump assemblies of elements, involved in irrigation systems.

Subject of study – regularities of the technological process of forming a surface layer with specified operational properties that ensure the necessary quality (durability, environmental safety, wear resistance, performance) of parts of pump units used in irrigation systems.

The purpose of the work is to increase the durability of pump units (PU) used in irrigated agriculture by improving the manufacturing technology and restoring their parts, due to the use of effective and environmentally safe technologies for the formation of protective coatings and modernization of the drive and connecting coupling.

Tasks for research:

1. To develop a system of targeted selection of the technology of applying a babbitt coating on sliding bearing (SB) liners.
2. To improve the technology of strengthening and restoring the surfaces of shafts that wear out during the operation of centrifugal pumps, due to the use of environmentally safe technologies of electrospark alloying (ESA), surface plastic deformation (SPD) and application of metal-polymer materials (MPM) and their combinations.
3. To develop a mathematical model of wear of babbitt coatings of SB liners.
4. Develop a mathematical model for the restoration of babbitt coatings of SB liners.
5. Modernize the pumping units by replacing the gear coupling with a more progressive elastic coupling with flexible elements.
6. To develop and introduce into production a new environmentally safe technology for the manufacture and restoration of parts of pump units used in irrigated agriculture.

In the introduction justified choice of the dissertation topic and scientific tasks, the goal and tasks of the research are formulated, the scientific novelty and practical significance of the obtained results are determined, as well as information about the approval, structure and scope of the work is given.

In the first chapter, on the basis of the analysis of the structure of the machines systems of irrigated agriculture of Ukraine, involved in various methods of introducing water into the soil, showed that the most important and responsible for ensuring high-quality irrigation are the PU, the components of which are electric motors, couplings and centrifugal pumps.

It is indicated that all components and parts of PU work in difficult conditions of abrasive, corrosive and other types of wear. The methods of manufacturing and repairing parts are environmentally hazardous, and individual units need modernization. All this made it possible to formulate the purpose and task for conducting research.

In the second chapter within order to increase the reliability and durability of PU, a system of targeted selection was developed environmentally safe and the most rational technology for improving the quality of the surfaces of their parts. At the same time, all stages of their life cycle, as well as economic and environmental requirements, are taken into account.

On the basis of the established correlation dependence between the wear of babbitt coatings of sliding bearings (SB) of centrifugal pumps and the work spent on friction, a physically based mathematical model of the wear process (wear equation) is proposed, which allows solving both the direct problem of determining weight and linear wear based on the known work of friction, and the inverse problem of finding the necessary work of friction to obtain whether other wear and tear. Knowing the time to reach a certain amount of wear, it becomes possible to use the products more rationally, timely appointing the time of repair, preventing catastrophic wear of the friction surface. In the course of the research, a methodology was developed for determining the constants of the wear equation: activation energy (EA), as well as maximum weight and linear wear, which can be used as criteria for choosing the most rational technology for applying a babbitt coating.

The third section dedicated to the methodology of experimental studies of the influence of various technologies on the quality of the surfaces of parts of the PU, involved in the system of irrigated agriculture. The peculiarities of the ESA technology during the renovation of the babbitt coatings of SB centrifugal pumps were considered. A range of methods has been developed aimed at improving the surface layers of PU parts during both manufacturing and renovation. At the same time, combinations of environmentally safe and low-cost methods were mainly used: ESA, ball treatment (BT), non-abrasive ultrasonic finishing treatment (NUFT), MPM coating.

The stability of shaft necks under SB and babbitt coatings, applied using different technologies, was evaluated by weight loss and reduced thickness of the sample on the SMC-2 (CMIQ-2) friction machine according to the "disk-pad" scheme, and the relative wear resistance of the samples for the restoration of the shaft landing surfaces - "disk - flat sample".

In the fourth chapter, in order to increase the reliability and durability of PU, a number of new technologies for improving the quality of the surface layers of their parts have been proposed. Yes, improved the CESA method of bearing necks of rotor shafts of centrifugal pumps, in which the surface roughness decreases from $R_a = 9.0$ to $3.2 \mu\text{m}$ in steel 20; the integrity of the alloyed layer increases from 80 to 100%, the depth of the carbon diffusion zone from 35 to $70 \mu\text{m}$, the microhardness of the "white" layer and its thickness from 8492 to 10796 MPa and from 60 to $230 \mu\text{m}$, respectively. When replacing steel 20 with steel 40X and 30X13, the microhardness of the "white" layer and its thickness increase, respectively, to 11823 and 10991 MPa and 240 and $240 \mu\text{m}$. Proposed a new way of sulfomolybdenation by the ESA method the neck of SB shafts, the use of which at discharge energy $W_p = 3.4 \text{ J}$ leads to appearance of 40 to 30% martensitic phase, up to 6% residual austenite (fcc phase), and up to 5% molybdenum disulfide in the surface layer of steel. Proposed a new method of forming by the ESA method on the seating surfaces of the shafts of wear-resistant coatings of the warehouse Al-CB, when applied, the microhardness of the "white" layer increases as the discharge energy increases: at $W_p = 0.13 \text{ J}$ - $H_\mu = 6487 \text{ MPa}$, and at $W_p = 4.9 \text{ J}$ - 12350 MPa .

Comparative studies on the SMC-2 (CMI-2) friction machine established that the weight and linear wear of round samples made of polished steel 40X for the bearing necks of shafts is greater than that of steel 30X13, by 1.15 and 1.09 times, respectively. The smallest weight and linear wear of samples made of 30X13 steel with a composition coating (Mo+S) and NUFT is, respectively, $0.013 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ and $0.90 \mu\text{m}$. For the landing necks of the shafts the best wear resistance was shown by samples made of steel 30X13, strengthened in ESA sequences (Al-CB)→NUFT; the weight and linear wear of which after 8 hours of tests was, respectively, $0.105 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ and $1.645 \mu\text{m}$.

In the fifth chapter developed technological recommendations for implementing the results of the conducted research into production.

To restore the layer of increased hardness destroyed after regrinding the bearing neck, a new environmentally safe method of nitrocementation is proposed, which

includes CESA, which is accompanied by the supply of nitrogen to the doping zone. The process of nitrocementation is characterized by an increase in microhardness from 10,500 to 10,600 MPa, a gradual decrease in it in the transition zone, an increase in the depth of the zone of increased hardness from 120 to 150 μm , as well as a decrease in surface roughness R_a , from 0.7 to 0.6 μm .

A new environmentally safe method of forming wear-resistant thick-layer combined electrosark coatings on the worn surfaces of the seating necks of rotor shafts of centrifugal pumps is proposed, which allows the formation of restored surface layers with a thickness of 1.5 mm, 100% integrity, a microhardness of 10100 MPa and a roughness of $R_a=1.2 \mu\text{m}$. The thickness of the coating can be increased by applying the ESA method before the CESA steel 08X15H5Д2Т.

In order to improve SB repair: the dependences of the characteristics of the quality of the surface layers of babbitt coatings, restored by the ESA method, on the discharge energy were found, which made it possible to carry out the renovation of products with babbitt coatings; proposed physically based mathematical models (equation of mass transfer and prediction of roughness of the surface layer), which allows to determine the main technological parameters of the quality of the formed layer based on the energy parameters of the ESA equipment: the amount of transferred material, increase in its thickness and surface roughness; the method of determining the constants of the mass transfer equations (the activation energy of the mass transfer process, the pendant weight and the increase in the thickness of the applied layer, as well as the equation for predicting the surface roughness (the maximum roughness and the activation energy of the process of its formation) has been developed,

As a result of the analysis of the operating conditions of the technological equipment, involved in the technological cycle of irrigation it is proposed to solve the problems of tightness of bearing assemblies of PU drives by modernizing them through implementation a new type of seals - magnetofluid sealers.

In order to replace the traditional toothed and sleeve-finger clutches used in the PU, involved in the technological cycle of irrigation, on elastic couplings (EC) with flexible elements, which compared to the above, have a number of important

advantages: the possibility to compensate for radial misalignment and misalignment of drive and unit shafts, silent in operation, do not require lubrication and maintenance during operation, research was conducted aimed at improving the latter. Studies of the of flexible EC elements wear resistance, formed into packages according to the new way, it was established that when using metal-lubricating materials in the form of paraffin with additives of copper, molybdenum disulfide and graphite, wear from fretting corrosion (F-C), compared to the prototype, decreases by 50%. To protect EC fasteners from F-C, an epilation method is proposed, after which the surface roughness parameters (R_a , R_z , and R_{max}) treated by the epilation method, compared to untreated ones, decreased by 1.55, respectively; 1.53 and 1.39 times. The proposed method not only significantly increases the wear resistance of the connected parts, but also reduces the cost of the process.

Obtained in actual work technological solutions, used ecologically and technogenically safe methods, implemented at the Municipal Enterprise "Miskvodokanal" of the Sumy City Council; PJSC "Sumykhymprom" and LLC "TRIZ LTD", Sumy with a total expected economic effect of 856,000 (eight hundred and fifty-six thousand) hryvnias.

In accordance with the set goal and tasks, the following results were obtained in the work:

1. Analysis of the current state of the irrigated agriculture system engineering infrastructure in the southern regions of Ukraine revealed many significant shortcomings associated with insufficient understanding of the technical subsystem role, problems with personnel, incompetent operation, maintenance and repair of equipment, which as a result restrain the use of environmentally safe and resource-saving technologies, without which it is impossible to obtain highly profitable products with low cost. The result of the research presented in the work was a number of combined environmentally safe technologies, the use of which makes it possible to eliminate the above-mentioned shortcomings and carry out modernization of irrigation system equipment.

2. In order to ensure stable and trouble-free operation of pump unit (PU) used in irrigation, the technology for ensuring the necessary quality parameters of bearing and seat necks of VC shafts, which is achieved through the use of environmentally safe methods of EIL, PPD and MPM application, has been improved. Thus, new methods of cementation and application of sulfomolybdenum coatings are proposed for the bearing necks of centrifugal compressor (CC) rotor shafts (**Ukrainian patents for a useful model No. 142822 and 144932**), the use of which, in addition to reducing the surface roughness from $R_a = 8.3$ to $3.2 \mu\text{m}$, increasing the integrity of the alloy layer from 80 to 100%, the thickness of the "white" layer from 60 to $230 \mu\text{m}$ and its microhardness up to 10796 MPa during cementation, when applying sulfomolybdenum coatings ensures the microhardness of the "white" layer up to 10731 MPa and the presence of up to 5% molybdenum disulfide in the surface layer. For the renovation of the destroyed layer of sliding bearing (SB) necks, an environmentally safe method of nitrocementation is proposed, the use of which ensures the creation of a strengthened layer up to $150 \mu\text{m}$ with microhardness on the surface up to 10,600 MPa and a reduction in roughness, R_a , to $0.6 \mu\text{m}$.

A new method of strengthening their surfaces by the electrospark alloying (ESA) method, by applying Al-C-B coatings, is proposed for the manufacture of shaft necks, and for their renovation after wear, a new environmentally safe method of applying combined electrospark coatings (CEC), the thickness of which reaches more than 1.5 mm, integrity 100%, microhardness 10100 MPa and roughness $R_a=1.20 \mu\text{m}$ (**Ukrainian utility model patents No. 148495, 141919 and 141920**).

3. The correlative dependence of the wear of SB babbitt liners on the work of friction was revealed, which made it possible to develop a mathematical model (wear equation) which can be used to solve both the direct task of finding the amount of wear of the babbitt coating applied by various methods according to the known work of friction, and the inverse - to determine the necessary work for wearing out a certain amount of babbitt coating. A method of determining the constants of the wear equation is proposed, which are certain criteria for determining a more rational technology for applying babbitt coatings of SB liners.

4. Improved technology for the renovation of babbit SB liners, by establishing a correlation between the energy regimes of ESA and the quality parameters of the applied surface babbit layers (thickness, the applied babbit layer and the roughness of the formed layer), which made it possible to develop mathematical models (mass transfer equations and equations for predicting parameters of surface roughness layer) when using which it is possible to solve both the direct task - based on the known parameters of the thickness of the babbitt layer, necessary for the restoration of the worn part of the surface and its roughness, to determine the energy parameters of the ESA equipment necessary for this, and the reverse one - to determine the quality parameters based on the known energy parameters of the ESA equipment surface babbitt layer (thickness and roughness), which will be formed. A technique for determining the constants of the mass transfer equation and the equation for predicting the roughness parameters of the surface layer is also proposed, which are certain criteria for determining a more rational technology for restoring worn surfaces of babbitt coatings of SB liners.

5. For the possibility of using elastic couplings in PU, used in irrigated agriculture, improved technologies for protecting the surfaces of their parts from fretting - corrosion (**patents of Ukraine for a useful model No. 151426 and 142811**). Thus, the surfaces of the flexible elements are covered with a lubricant, in the composition of which it is proposed to additionally introduce graphite powder, which ensures up to 50% reduction in their wear, and the fastening parts of the coupling are processed in an epilam medium, which allows to reduce the friction coefficient by up to 3 times and, as a result, reduce the fretting corrosion process.

6. Environmentally safe, energy-saving combined technologies for the manufacture and renovation of PU irrigation farming parts, protected by 11 patents of Ukraine, have been put into production with an expected economic effect of UAH 856,000.

Scientific novelty of the obtained results:

1. For the first time scientifically substantiated and agreed the parameters of the developed system of the directed choice most effective, ecologically and

technogenically safe technologies for improving the quality of the parts surface layers at the manufacture of pumping units (PU).

2. For the first time, on the basis of the established correlations between the friction work and the babbitt coatings surface layers wear, formed in various ways on the liners of sliding bearings (SB), physically substantiated functional relationships between the main parameters of the wear process (wear equation), which allows for the friction work determine the linear and weight wear of the babbitt coating, as well as solve the inverse problem, which allows you to find the amount of friction work required to wear a certain amount of substance or to obtain the required linear wear.

3. For the first time, both the process of destruction and restoration of the sliding bearings babbitt coating is analytically described.

4. For the first time, for different materials of friction pairs (babbitt liner - SB neck), the developed methodology for determining of the wear equation constants: the largest weight and linear wear, respectively ($\Delta m_{\max}$) and ($\Delta h_{\max}$), as well as the activation energy of the wear process E_A , which can to be the criteria for choosing the most rational technology for increasing the durability of a SB.

5. For the first time a new method of carbonization by the ESA method of steel surfaces has been reasonably developed and tested, in which carbon alloying occurs with a compact electrode-tool made of graphite and graphite powder, which allows to reduce the surface roughness from $Ra = 8.3-9.0$ to $3.2-4.8 \mu m$; increase the integrity of the alloying layer from 80 to 100%; the microhardness of the "white" layer and its thickness, respectively, from 8492 to 10796 MPa and from 60 to 230 μm (***Ukraine utility model patent No. 142822***).

6. For the first time, the relationships between the parameters of the ESA equipment and the parts surface layers quality parameters were established, which made it possible to apply a sulfomolybdenum coating on the steel surface using the ESA method, which contains up to 5% molybdenum disulfide (MoS_2), which is a dry lubricant and the presence which in the surface layer was determined by X-ray structural analysis (***patent of Ukraine for a useful model No. 144932***).

Practical significance of the obtained results consists in the development of a

number of technological recommendations for the manufacture, renovation and modernization of PU parts and assemblies involved in irrigated agriculture systems, the use of which will increase their reliability and durability. Technological solutions obtained in the work, protected by 11 patents and implemented at the Municipal Enterprise "Miskvodokanal" of the Sumy City Council; PJSC "Sumykhymprom" and LLC "TRIZ LTD", Sumy with a total expected economic effect of 856,000 (eight hundred and fifty-six thousand) hryvnias.

The developments made in the dissertation work are implemented in the educational process of the department of technical service of the Sumy National Agrarian University and are used in the teaching of the disciplines "Materials science and construction materials technology", "Technology of mechanical engineering in the industry" and "Tribotechnology, as well as the department of computer mechanics named after Volodymyr Marcinkovsky of Sumy State University and are used in the teaching of the disciplines "Tribomechanics and basics of contact mechanics" and "Design and calculation of sliding bearings" for students of specialty 131 "Applied mechanics" (educational program "Computer engineering in mechanics").

The main results of the dissertation work, their summaries and the stated scientific propositions and conclusions, which constitute the essence of the work, were obtained and formulated by the author independently.

Key words: tightness, sliding bearing, shaft necks, surface layer, microhardness, roughness, wear, alloy, modernization, electrospark alloying, magnetofluid sealing complex, mechanical properties, structure, safety, combined coating.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	31
ВСТУП	32
Розділ 1. Стан проблеми підвищення якості насосних агрегатів в технологічному циклі зрошення.....	38
1.1. Загальна характеристика системи зрошування	38
1.2. Обладнання для зрошувальних систем. Умови праці та види зносу	41
1.3. Аналіз технологічних методів зміцнення та відновлення поверхонь відповідальних деталей НА.....	53
1.4. Аналіз методів виготовлення бабітових підшипників ковзання.....	54
1.5. Аналіз техногенно і екологічно безпечних технологій зміцнення та відновлення деталей насосних агрегатів.....	55
1.6. Висновки по розділу.....	58
1.7. Мета та задачі дослідження	59
 Розділ 2. Розробка системи спрямованого вибору необхідної технології виготовлення та ремонту деталей насосних агрегатів	60
2.1. Обов'язкові вимоги при відборі необхідної технології при виготовленні та ремонті деталей НА	60
2.2. Набір методів нанесення бабітових покриттів на сталеві вкладиші підшипників ковзання	64
2.3. Спрямований вибір технології нанесення бабітових покриттів. Критерії вибору при досягненні показників якості поверхні деталей	67
2.4. Висновки	77
 Розділ 3. Експериментальна оцінки результатів впливу різних технологій на параметри якості поверхневих шарів деталей насосних агрегатів	78

3.1 Методика впливу на поверхневі шари сталей НА технологій	
ЕІЛ	78
3.2. Методика підвищення зносостійкості шийок валів під ПК	85
3.3. Методика формування зносостійких посадкових поверхонь	
валів	87
3.4. Особливості методики дослідження зносостійкості поверхневих	
шарів сталей зразків	87
3.5. Методика реновації шийок валів роторів відцентрових насосів	90
3.6. Методика реновації бабітових ПК	93
3.7. Методика модернізації НА.....	96
3.8. Висновки	98
Розділ 4. Підвищення довговічності валів відцентрових насосів.....	101
4.1. Удосконалення способу зміцнення шийок валів під підшипники	
ковзання.....	101
4.2. Новий спосіб формування на поверхнях шийок валів підшипників	
ковзання дисульфід молібденових покриттів	108
4.3 Підвищення якості поверхонь посадочних шийок валів	117
4.4. Порівняльні випробування шийок сталей валів на зносостійкість....	124
4.5. Висновки	128
Розділ 5. Реновація, модернізація і промислове впровадження методів	
підвищення якості деталей насосних агрегатів, задіяних в системах	
зрошення	130
5.1. Забезпечення якості ремонту сталей валів відцентрових насосів ...	130
5.2. Розробка технології реновації бабітових ПК	136
5.3. Технологічне забезпечення модернізації НА зрошувального	

землеробства	147
5.4. Практичне значення і промислове впровадження результатів, отриманих в роботі.....	154
5.5. Висновки	157
Загальні висновки	159
Список використаних джерел	162
Додатки	179

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

НС – насосна станція;

НА – насосний агрегат;

ЕІЛ – електроіскрове легування;

КЕП – комбіновані електроіскрові покриття.

ПК – підшипники ковзання;

ПВ – підшипникові вузли;

МР – магнітні рідини;

МРГ – магніторідинні герметизатори;

ВН – відцентрові насоси;

ПШ – підшипникові шийки;

Ф-К – фреттинг-корозія;

ХТО – хіміко-термічне оброблення;

ІА – іонне азотування;

СВЧ – оброблення струмами високої частоти;

ППД – поверхнева пластична деформація;

ОК – обкатка кулькою;

БУФО – безабразивна ультразвукова фінішна обробка;

ПМ – пружні муфти;

ЦЕІЛ – цементация методом ЕІЛ;

НЦЕІЛ – нітроцементация методом ЕІЛ;

АЕІЛ – алітування методом ЕІЛ;

ТО – термічне оброблення;

МПМ – металопластичні матеріали;

МММ метало мастильні матеріали.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження

Для будь-якої країни розвиток сільського господарства нерозривно пов'язаний з стабільним ростом її економіки. Таким чином, однією з важливих проблем сьогодення є успішний розвиток сільського господарства, який тісно пов'язаний з механізацією та автоматизацією основної частини найбільш складних, довготривалих і трудомістких технологічних процесів, що відбуваються у ньому. Сучасний етап розвитку землеробства повинен характеризуватись високорентабельною продукцією з низькою собівартістю, визначальними факторами отримання якої повинні стати ресурсозберігаючі та екологічно безпечні технології та технічні засоби зрошення, що забезпечують рослинам потрібну кількість води.

Наразі стан меліоративного землеробства, особливо в південних регіонах України, оцінюється як кризовий, з подальшою загрозою погіршення. Як в наслідок російської агресії, так і через дефіцит коштів держава не в змозі здійснити модернізації головних насосних станцій як внутрішньогосподарських зрошувальних систем, так і в міжгосподарських мережах.

Аналіз оснащення внутрішніх та міжгосподарських систем зрошувального землеробства показав, що НА є основним обладнанням, від якого залежить урожайність всіх вирощуваних культур. Основними складовими НА є: електродвигун, з'єднувальні муфти та відцентрові насоси, поверхні деталей яких піддаються впливу негативних оточуючих середовищ, а також підлягають різним видам зносу: абразивному, кавітаційному, фреттинг-корозії та іншим.

Аналіз технологій виготовлення та відновлення деталей та вузлів НА показав, що серед них є такі, що надають шкідливий вплив на оточуюче середовище і можуть бути небезпечними для людей. Це, як правило, технології пов'язані з покращенням параметрів якості поверхневих шарів деталей: зварювання, наплавлення, плазмове напилення, ХТО (цементация, азотування, нітроцементация) та інші. Ці технології крім того що є екологічно небезпечними,

характеризуються і низкою недоліків: вони складні, довготривалі, енергоємні, дорогі, часто потребують додаткових впливів інших технологій для покращення якості деталей. Наприклад, після зварювання і наплавлення, з метою усунення негативних залишкових напружень, що розтягують, потрібно проводити відпал властивостей; після ХТО, з метою виправлення поводок і короблень, використовують виправлення під пресом, проточування, шліфування і таке інше.

Слід відмітити, що на сьогодні при виконанні ремонтів обладнання сільського господарства все частіше використовують технології електроіскрового легування, нанесення металополімерних матеріалів, а також методи поверхневого пластичного деформування, до як слід віднести найбільш поширені: безабразивну ультразвукову фінішну обробку (БУФО) і обкатку кулькою (ОК) які мають низку переваг перед традиційними і є екологічно безпечними.

Слід підкреслити, що удосконалення технології створення і реновації відповідальних деталей НА екологічно безпечними методами, є актуальними і своєчасними, та мають велике значення для розвитку економіки України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертація виконана на кафедрі технічного сервісу Сумського національного аграрного університету (СНАУ) згідно з планом держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України «Дослідження ресурсозберігаючих технологій формування функціональних покриттів робочих поверхонь деталей машин» (НДР № 0118U100099) та «Наукова методика забезпечення збереження властивостей робочих поверхонь деталей енергоефективними екологічно чистими методами» (№ 0116U002756). а також госпдоговору № 1-9-2 з науково-виробничим підприємством «ТРІЗ ЛТД» на тему «Підвищення параметрів якості поверхневих шарів відповідальних деталей роторних машин», де здобувач був виконувачем декількох розділів.

Метою роботи є підвищення довговічності насосних агрегатів, що використовують в зрошувальному землеробстві, шляхом удосконалення технології виготовлення та відновлення їх деталей, за рахунок використання

ефективних та екологічно безпечних технологій формування захисних покриттів та модернізації приводу і з'єднувальної муфти.

Завдання для дослідження:

1. Розробити систему спрямованого вибору технології нанесення бабітового покриття на вкладиші ПК.
2. Удосконалити технологію зміцнення і відновлення поверхонь валів, що зношуються в процесі роботи відцентрових насосів, за рахунок використання екологічно безпечних технологій ЕІЛ, ППД і нанесення МПМ та їх комбінацій.
3. Розробити математичну модель зносу бабітових покриттів вкладишів ПК.
4. Розробити математичну модель відновлення бабітових покриттів вкладишів ПК.
5. Провести модернізацію насосних агрегатів шляхом заміни зубчастої муфти на більш прогресивну пружну муфту з гнучкими елементами.
6. Розробити і впровадити у виробництво нову екологічно безпечну технологію виготовлення і відновлення деталей насосних агрегатів, які використовують в зрошувальному землеробстві.

Об'єкт дослідження – технологічний процес формування функціональних покриттів на поверхні деталей насосних агрегатів та їх елементів, задіяних в системах зрошення.

Предмет дослідження – закономірності технологічного процесу формування поверхневого шару із заданими експлуатаційними властивостями, що забезпечують необхідну якість (довговічність, екологічну безпеку, зносостійкість, працездатність) деталей насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення.

Методи дослідження

Метод системного аналізу дозволив дослідити умови роботи НА, видів зношування їх поверхневих шарів, технологічні методи виготовлення і ремонту відповідальних деталей їх складових вузлів.

Використання методу синтезу дозволило насосні агрегати розбити на окремі вузли (електродвигун, ущільнення, з'єднувальні муфти та відцентрові насоси) в яких були обрані відповідальні деталі, що лімітують довговічність роботи всього агрегату і для яких актуальним є покращення якості окремих елементів різними технологічними методами.

При розробці системи спрямованого вибору необхідної технології виготовлення та ремонту деталей НА використовувалися: математична логіка і математичне моделювання.

Металографічний і дюрOMETричний аналізи сталених зразків проводився на сучасному обладнанні для визначення параметрів якості поверхневого шару: структури, суцільності та розподілу мікротвердості по мірі поглиблення. Шорсткість поверхневого шару оцінювалась на профілографі-профілометрі мод. 201 заводу «Калібр». Розподіл елементів по глибині шару досліджували шляхом проведення локального мікрорентгеноспектрального аналізу з використанням електронного мікроскопа, що сканує - Joel JSM-5400.

Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше науково обґрунтовано та узгоджено параметри розробленої системи спрямованого вибору найбільш ефективних, екологічно та техногенно безпечних технологій підвищення якості поверхневих шарів деталей, при виготовленні насосних агрегатів (НА).

2. Вперше на підставі встановлених кореляційних залежностей між роботою тертя та зносом поверхневих шарів бабітових покриттів, сформованих різними способами на вкладишах підшипників ковзання (ПК), фізично обґрунтовано функціональні зв'язки між основними параметрами процесу зносу (рівняння зносу), що дозволяє по роботі тертя визначати лінійний та ваговий знос бабітового покриття, а також вирішувати зворотну задачу, що дозволяє знайти величину роботи тертя, необхідну для здійснення зносу певної кількості речовини або для отримання необхідного лінійного зносу.

3. Вперше аналітично описано як процес руйнування так і відновлення бабітового покриття підшипників ковзання.

4. Вперше для різних матеріалів пар тертя (бабітовий вкладиш - шийка ПК) обґрунтовано розроблену методику визначення констант рівняння зносу: найбільшого вагового та лінійного зносу, відповідно ($\Delta m_{\max}$) та ($\Delta h_{\max}$), а також енергію активації процесу зношування E_A , які можуть бути критеріями вибору найбільш раціональної технології підвищення довговічності ПК.

5. Вперше обґрунтовано розроблений і апробований новий спосіб цементації методом ЕІЛ сталей поверхонь при якому легування вуглецем відбувається компактним електродом-інструментом з графіту та графітовим порошком, що дозволяє в порівнянні з аналогами зменшити шорсткість поверхні з $Ra = 8,3-9,0$ до $3,2-4,8$ мкм; збільшити суцільність легованого шару з 80 до 100%; мікротвердість «білого» шару і його товщину, відповідно з 8492 до 10796 МПа і з 60 до 230 мкм (*патент України на корисну модель № 142822*).

6. Вперше встановлені взаємозв'язки між параметрами обладнання ЕІЛ та параметрами якості поверхневих шарів деталей, що дозволило на сталю поверхню нанести методом ЕІЛ сульфомолібденове покриття, яке в своєму складі містить до 5% дисульфиду молібдену (MoS_2), який є сухою змащувальною речовиною і наявність якого в поверхневому шарі встановлено рентгеноструктурним аналізом (*патент України на корисну модель №144932*).

Особистий внесок здобувача.

Твердження і висновки, представлені в дисертаційній роботі, отримані автором самостійно. Серед них: обґрунтування і розробка методів досліджень, планування дослідів, які були проведені, опрацювання програм експериментів, а також їх здійснення. Постановка мети роботи і задач проведення досліджень, аналіз і синтез отриманих результатів здійснювалися здобувачем разом з науковим керівником. Особистий внесок автора конкретизовано в списку публікацій. Внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, полягав в розробці методів досліджень, що проводились і їх реалізації.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 24 наукові праці, з них: 7 статей у фахових виданнях України, 6 матеріали конференцій, 11 патенти; 3 статті – в зарубіжних виданнях, що є в науково-метричному виданні Scopus або WOS. Структура та обсяг дисертації. Робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків, викладена на 206 сторінках машинописного тексту. Основний зміст роботи викладено на 128 стор., включаючи 52 рисунків та 30 таблиць. Список використаних джерел складається з 145 найменувань на 17 сторінках.

РОЗДІЛ I

СТАН ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ЦИКЛІ ЗРОШЕННЯ

1.1. Загальна характеристика системи зрошування

В [1-4] приводять визначення меліорації, які незначно відрізняються. Згідно [1] меліорація (від латинського слова *melioratio* – покращання) – це сприятлива зміна властивостей ґрунту, яка виникає в наслідок керування його водними та повітряними режимами.

В [5] стверджується, що у світі 40% продовольства виробляється на зрошуваних землях, що становлять 17% усіх сільськогосподарських земель (подальше їх збільшення обмежує нестачу ресурсів та води).

За минуле століття населення Землі збільшилося з півтора до шести мільярдів людей і передбачається, що скоро досягне восьми мільярдів. Якщо у 2000 році при населенні 6,1 мільярда чоловік розмір посівних площ становив 0,25 га на кожного, то тепер, при прогнозованому зростанні населення, очікується зменшення цих площ до 0,15 га.

Від успішного розвитку сільського господарства будь-якої країни значною мірою залежить її економіка. У свою чергу сільське господарство успішно розвиватиметься лише за умови механізації та автоматизації значної частини найбільш трудомістких процесів, що протікають у ньому [6-8].

Для отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур, рослини потрібно забезпечити усіма чинниками існування. Світло, тепло та повітря відносяться до космічних факторів і можуть лише частково регулюватися людиною. Вода та елементи живлення надходять у рослини з ґрунту та повністю залежить від діяльності людини. На зростання та розвиток рослин впливають також будова ґрунту, біологічна її діяльність та розкладання органічних речовин у ґрунті.

Висока рентабельність продукції в сільському господарстві значною мірою залежить від екологічно безпечних та маловитратних технологій, що використовуються у зрошенні. Технології забезпечення кореневої системи рослини водою повинні бути стабільно надійними ресурсозберігаючими та мало залежать від природних факторів. При цьому, безперечно, належна увага приділяється якості насіннєвого матеріалу та засобам захисту рослин.

Оцінка існуючих способів поливу та методів здійснення зрошення за винятком можливості доставки води до рослин повинні здійснюватися з урахуванням такого показника, як можливість регулювання мікрокліматичних показників у зоні розвитку рослин [9-11].

Найпоширенішим способом поливу сільськогосподарських культур у багатьох країнах світу є поверхнєве зрошення, за якого розподіл води по полю здійснюється з невеликими витратами енергії, але якому притаманні відомі недоліки, що призводять до погіршення меліоративного стану земель та екологічної обстановки в агроландшафтах.

Згідно [1,12] зрошувальна меліорація це процес, який полягає в доставці води на поля в яких її кількість обмежена та забезпечення коренів рослин вологою та поживними речовинами.

Зрошувальна меліорація поділяється на такі види:

Регулярно діюче зрошення – подача води на зрошувану площу стільки разів, скільки разів виникає її дефіцит у ґрунті. Може бути самопливним і з механічним підйомом води (з річок, водосховищ та ін.).

Одноразово діюче зрошення – затримання на площі місцевого стоку води може бути паводковим за рахунок використання паводкових вод.

Додаткове зрошення (періодичне, під час різкого маловоддя) – притаманно недостатньо зволжених земель.

Залежно від призначення, впливу на ґрунт та рослини поливи поділяються на зволожувальні (основний вид зрошувальних меліорацій) та спеціального призначення. До останніх відносяться посадкові, удобрювальні, протизаморозкові, вологозарядкові, промивні та інші види поливів.

Зрошення проводиться вибірково при нестачі водних ресурсів (найчастіше використовуються води місцевого стоку) і коли полив потрібний не для всіх культур сівозміни. У зоні великих зрошувальних систем при гарантованих вододжерелах є можливість проводити зрошення на великих територіях і для всіх культур.

Аналіз аграрного потенціалу, який проводиться фахівцями ООН, стверджує, що Україна може забезпечити харчуванням до половини мільйона осіб, проте ці можливості не досягають і 30%, що значною мірою пов'язано з різними факторами, основним з яких зважає на зміну клімату у бік потепління температури повітря. Тому необхідність зрошення полів з кожним роком тільки збільшуватись [13].

На сьогоднішній день зрошуване землеробство в Україні перебуває у дуже поганому критичному стані. Значний брак фінансування робіт, спрямованих на ремонт, реновацію та модернізацію машин та обладнання, посилюється військовими діями, що відбуваються на півдні України. Окупація територій призвела до руйнування меліоративних споруд та повного знищення поливної системи. Зруйновано насосні станції та їх обладнання, меліоративні канали, трубопроводи, водосховища та ін.

В документі 688-2019-р, від 14.08.2019 «Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» представлений жахливий стан в галузі зрошувального землеробства [14].

Восьмого вересня 2021 року був прийнятий за основу законопроект №5202-д про створення об'єднання водокористувачів (ОВК). Прийнятий законопроект передбачає необхідність забезпечувати прозоре та справедливе тарифоутворення; не допускати утворення монополії на водні ресурси, інфраструктуру; перешкоджання переходу стратегічної інфраструктури у приватну власність. При розгляданні законопроекту ОВК, народні депутати зауважували що: «За часи незалежності в Україні площа зрошувальних земель скоротилася на 70%, а потенціал зрошуваних систем півдня використовується в

дуже малої кількості до 30%. Значну недостачу води відчують близько 19 млн га полів [15-17].

Слід відмітити, що для реалізації Стратегії, яка розрахована для втілення в життя не тільки в господарствах, які мають внутрішньогосподарські зрошувальні системи, а і в міжгосподарських мережах, де потрібно проводити модернізацію яка полягає в корінній зміні існуючого обладнання, як на існуючих, так і запланованих на майбутнє об'єктах.

З метою введення і освоєння нових додаткових площ зрошення в Стратегії, яка розрахована до 2030 р. потрібно удосконалювати існуючі та створювати нові споруди та об'єкти на міжгосподарських зрошувальних системах. Для цього потрібно провести певні заходи, які включають модернізацію головних насосних станцій та заміну насосно-силового обладнання.

1.2 Обладнання для зрошувальних систем. Умови праці та види зносу

В [2, 3, 18] відмічається, що для забезпечення якісного поливу першочерговим завданням стає визначення показників джерела води. Вочевидь, під час роботи з різними джерелами води будуть різні вимоги до устаткування. Тип насосного устаткування великою мірою залежить від систематичного аналізу водного джерела, ресурси якого передбачається використати.

Поливна вода для **поверхневого** зрошення може підводитися самопливом або перекачуватися в канали за допомогою насосів із поверхневих джерел або глибоких свердловин. Потім вода надходить на поле. Для поверхневого поливу не обов'язково встановлювати дозувальне обладнання. Добрива та агрохімікати, як правило, подаються безпосередньо з бака із запірним клапаном, встановленого у полі. Дозування здійснюється вручну шляхом відкриття та закриття клапана. При такому способі дозування, дезінфекції, внесення добрива та хімікатів неможливо досягти точності та рівномірного охоплення всіх рослин.

Системи **дощування** подають поливну воду як штучного дощу. Дощувальні машини можуть забезпечити ефективний полив рослин за умови

вибору розприскувачів та сопел відповідного розміру, достатнього напору, установки на стояку у правильному положенні на необхідній висоті та рівномірного розподілу розприскувачів по полю з однаковою зоною перекриття. При установці таких систем необхідно враховувати погодні умови через те, що пориви вітру можуть порушити рівномірність поливу.

Системи дощування поділяються на різні категорії, що включають численні типи обладнання. До найбільш розповсюджених відносяться машини що не рухаються, які є розбризкувачем або комплектом розприскувачів, закріплених на рухомих опорах, і ті що не рухаються, що встановлюються на полях, маючих складну топографію, де використання пересувних дощувальних машин обмежено (рис. 1.1).

Крапельне зрошення, мабуть, найефективніший спосіб поливу завдяки мінімальному стоку та евапорації. Вода і поживні речовини подаються безпосередньо в коренеживаний шар. Трубопровід системи прокладається під землею або на поверхні поряд із рослинами. Водовипускні крапельниці, розташовані на краплинних лініях на рівному відстані один від одного, забезпечують рівномірний полив кожної рослини. Тип крапельниць, їх витрата та відстань між ними залежить від оброблюваної сільськогосподарської культури та текстури ґрунту.

При крапельному зрошенні волога підводиться безпосередньо до рослин, тому утрати поливної води дуже малі, а рівномірність поливу дуже велика.

На жаль, обсяг робіт з технічного обслуговування дуже здоровий і займає багато часу. Таке обладнання дуже часто виходить з ладу. Крапельниці дуже маленькі і часто засмічуються. Пошук крапельниць, що засмітилися, також скрутний, оскільки, як правило, емітери встановлюються під землею [1-3, 20].

Для краплинної системи поливу використовують насос радіального або відцентрового типу. Останній повинен мати два робочих колеса, а радіальні насоси повинні працювати тільки в умовах свердловини. Одним з таких насосів для крапельного поливу є радіальний насос xS, який

незважаючи на маленький діаметр подавати воду під високим тиском при середній продуктивності [21, 22].



а



б



в

Рисунок 1.1 – Вигляд машин для поливу [19]:

а – самопересувна для круглих ділянок; б – для поливу полів прямими кутами;
в - система іподромного типу ЕССО РІВОТ – змішаного застосування.

Таким чином, слід відмітити що переважно в усіх способах введення води в ґрунт задіяні насосні агрегати (НА), а його головним вузлом відцентровий насос (ВН), який приводиться в дію за допомогою електродвигуна через сполучну муфту.

Принцип роботи ВН заснований на обертанні робочого колеса зі спеціальними лопатями, вигнутими в сторону відцентрової сили. Коли робоче колесо обертається електродвигуном, лопаті відкидають воду, що надходить з

всмоктувального трубопроводу в напірний трубопровід. За наявності брудного водоймища перед всмоктувальним отвором насоса, необхідно встановлювати систему фільтрів. В іншому випадку, при попаданні твердих частинок насос може швидко вийти з ладу.

Поверхневі відцентрові насоси перекачують воду з водойми в зрошувальну систему на відстань в залежності від потреби і потужності насоса. Добре себе проявили в цьому питанні насоси GARDENA. Завдяки своїй потужності, вони здатні подавати воду з водойм, розташованих нижче поливального ділянки, створюючи при цьому хороший натиск [23].

Серед виробництв, що спеціалізуються на виготовленні та ремонті насосних станцій, а також поставці запасних частин до них слід зазначити підприємство ПрАТ «ЕПОС», яке вже понад тридцять років працює у цьому середовищі. На рис. 1.2 представлені деякі конструктивні особливості НС, що виготовляються фірмою «ЕПОС» і які можуть бути розташованими як на ґрунті (а) так і на воді (б).



а



б

Рисунок 1.2 – Зображення різних конструкцій НС [24].

Компанія ПрАТ «ЕПОС» займає одну з лідируючих позицій щодо обсягів постачання на ринки України промислового насосного обладнання [24].

В основі НС закладаються енергоефективні насосні агрегати (НА) Sargati (Італія) високої якості за доступною ціною, меншою за споживану потужність необхідної електростанції, меншою кількістю сервісних виїздів та супутніх витрат (рис. 1.3).

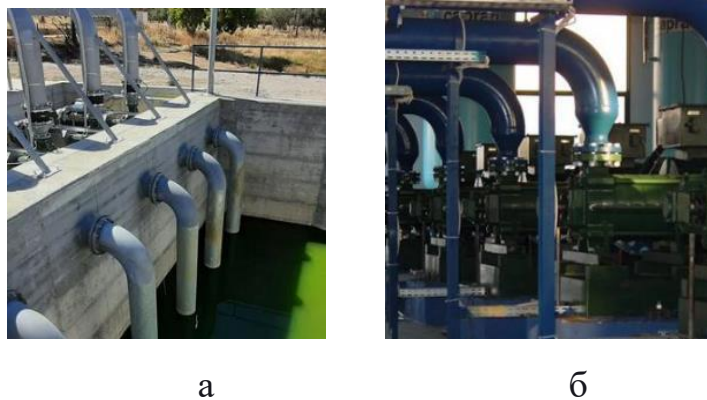


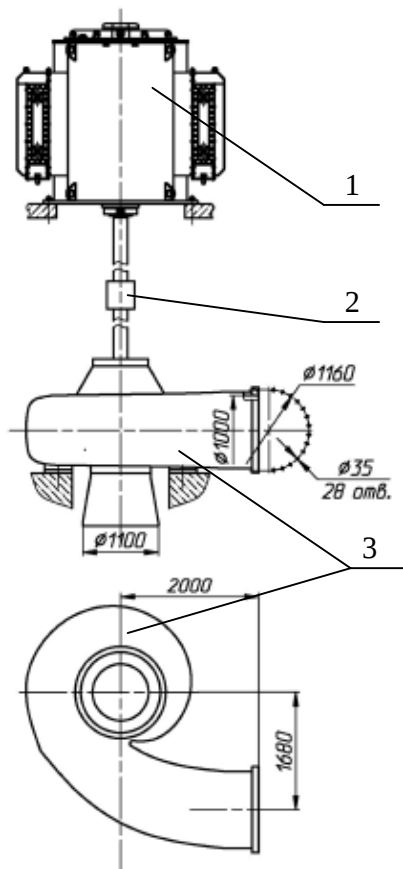
Рисунок 1.3 – Вигляд НС з Італії: а – НС малого тиску; б – потужна НС для поливу і зрошення [23].

Більше ніж пів століття в галузі будування насосного обладнання працює АТ «СМНПО – Інжиніринг», м. Суми, яке поставляє свою продукцію не тільки в Україні, а також в ближньому та дальньому зарубіжжю.

На рис. 1.4 показане обладнання яке виготовляється для Республіки Таджикистан. Це конструктивна схема електронасосного агрегату ЦВН 22600-95 (а) та типовий загальний вигляд насосу ЦВН 22600-95 (без електроприводу) (б).

Дана технічна пропозиція розроблена відповідно до запиту ТОВ СП «СогдЕкоПром» на насосне обладнання в рамках проекту «Реконструкція та модернізація існуючих насосних у Согдійській області Республіки Таджикистан» та потреби у заміні морально зношених вертикальних насосних агрегатів типу 52В-11 (аналог 1200В 6,3/100) виробництва АТ «Уралгідромаш»

з електродвигуном типу ВДС-325-69-16 потужністю 8 000 кВт, напругою 10 кВ та частотою обертання 375 об/хв, які працюють на цих об'єктах з 1960-х років.



а



б

Рисунок 1.4 – Насосний агрегат для поставки в Республіку Таджикистан.

Основні технічні параметри насосного агрегату ЦВН 22600-95 зведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри насосного агрегату ЦВН 22600-95

Подача, м ³ /год	Натиск, м	Коефіцієнт корисної дії, %	Потужність, кВт	Кількість об/хв	Вага, кг
22 680	95	80	6 800	1 000	25000

В якості приводу в НА використовують асинхронні електродвигуни (АД). Ці двигуни в процесі роботи можуть зупинитися, як правило в результаті виходу

з ладу обмотки, або підшипників котіння, що відбувається в результаті, відповідно, попадання через підшипник вологи, та його забруднення.

Таким чином, основною причиною зупинки електродвигуна є неякісна герметичність підшипникового вузла. Попадання в підшипник різних абразивних частинок забруднюють мастило, руйнують поверхневі шари його складових деталей, сприяють його перегріванню [25].

Менш ніж 30% підшипників повністю відпрацьовують закладений виробником термін служби. Більшість з них виходять з ладу внаслідок влучення в корпус забруднень із довкілля вологи, водяного туману і т. д., що викликає передчасне зношування і подальші руйнування самого підшипника, а потім і всього агрегату загалом [26].

Резервом для підвищення герметичності підшипникових вузлів можуть бути нові перспективні ущільнення з використанням магніторідинних герметизаторів (МРГ), використання яких гарантує практично повну герметичність за заданих умов роботи, мінімальне зношування, простоту обслуговування [27].

В [28] детально представлена конструкція відцентрового насосу.

Таким чином, головним елементом ВН є колесо, насаджене на вал, яке обертається всередині корпусу, що складається з двох і більше дисків, між якими розташовуються лопаті, вигнуті в протилежні сторони від напрямку руху колеса. Водночас це канали колеса, які заповнюються рідиною і яка потім надходить у спіральні камери для відведення. Зазвичай, як привод ВН застосовують будь-які високооборотні електродвигуни.

В процесі роботи ВН і під час його зупинки поверхні його складових деталей зношуються в результаті руйнівних процесів як між контактуючими деталями, так і тими, що контактують з оточуючим середовищем. До основних деталей, від яких залежить роботоспроможність насосу належить вал ротору і підшипники ковзання (ПК). У валу ротора поверхнями, що зношуються є підшипникова шийка (шип) і посадкова шийка на яку з натягом насувають різні деталі (шків, втулки, робочі колеса та інші), а у ПК бабітовий шар.

При капітальному ремонті проводять повне розбирання насоса на вузли та вузлів на деталі із заміною зношених деталей або їх відновленням. При цьому обов'язково відновлюють вал із проточкою та шліфуванням, виконують перезаливку підшипників ковзання (ПК), заміну робочих коліс, втулок тощо, ремонтують чи замінюють зубчасту муфту. Найбільшому зносу в цих муфтах піддаються зуби (з'являються задирки, вм'ятини). Після відновлення поверхні зубів перевіряють на якість сполучення, биття муфти. Якщо є биття, деталі муфти проточують на верстаті до усунення дефектів.

В процесі роботи НА всі деталі його складових вузлів зношуються, а серед усіх видів зносу найбільший відсоток займає абразивне зношування (до 90%), яке виникає під час контакту їх поверхневих шарів з абразивними частками. Абразивне зношування може виникати в результаті контакту абразивних часток, які знаходяться у воді і переміщуються разом з нею, з поверхневим шаром деталей. Таке зношення називають гідроабразивним. Наслідком гідроабразивного зношування можуть бути різні пошкодження поверхонь деталей, які мають різний вигляд. Найбільш з усього на поверхні, що зношується, залишаються риски, канавки, подряпини [29, 30].

В [31] наведено приклади типових видів зносу робочих органів ВН, обумовленого присутністю в рідині абразивних частинок різного фракційного складу. Таким чином, на підставі вивчення видів зношування деталей ВН можна з достатньою для прийняття інженерних рішень точністю оцінити склад твердих фракцій, присутніх у видобувній рідині.

Швидкість гідроабразивного зносу залежить не тільки від середнього діаметра абразивних частинок, але й їх концентрації, розміру, щільності, відносини твердості, що зношується деталі та твердості абразивних частинок, корозійного фактору, сили притискання до поверхні та частоти обертання насоса. Ця залежність описана в [32].

У великій мірі гідроабразивному зносу схильні і газосепаратори класичного типу з робочими органами, що обертаються (шнек, робоче колесо тощо),

причому кількість зношувань до повного руйнування корпусу прямо пропорційно середньому діаметру абразивних частинок, присутніх у рідині [33].

Характерною особливістю процесу абразивного зносу є його швидкий розвиток: за певних умов експлуатації катастрофічний знос соплових та робочих лопаток циліндру високого тиску (ЦВТ) може статися за 1÷3 роки [34]. На ряді електростанцій термін служби лопаткового апарату та периферійного ущільнення циліндру середнього тиску (ЦСТ) турбін Т-250/300-240 за умов інтенсивного впливу ерозійних навантажень скорочується до одного-трьох міжремонтних періодів [35]. У зв'язку з цим виникає небезпека поломок, зростають витрати на відновлення та ремонт пошкоджених елементів. Відповідно до робіт [35, 36] необхідність ремонту лопаткового апарату та ущільнень перших ступенів ЦВТ та ЦСТ настає вже через 25 тис. ч. експлуатації, ККД 1-го ступеня ЦСТ знижується на 8÷12% за 40÷45 тис. год. експлуатації.

На рис. 1.5 показані поверхні ПК після абразивного зносу.

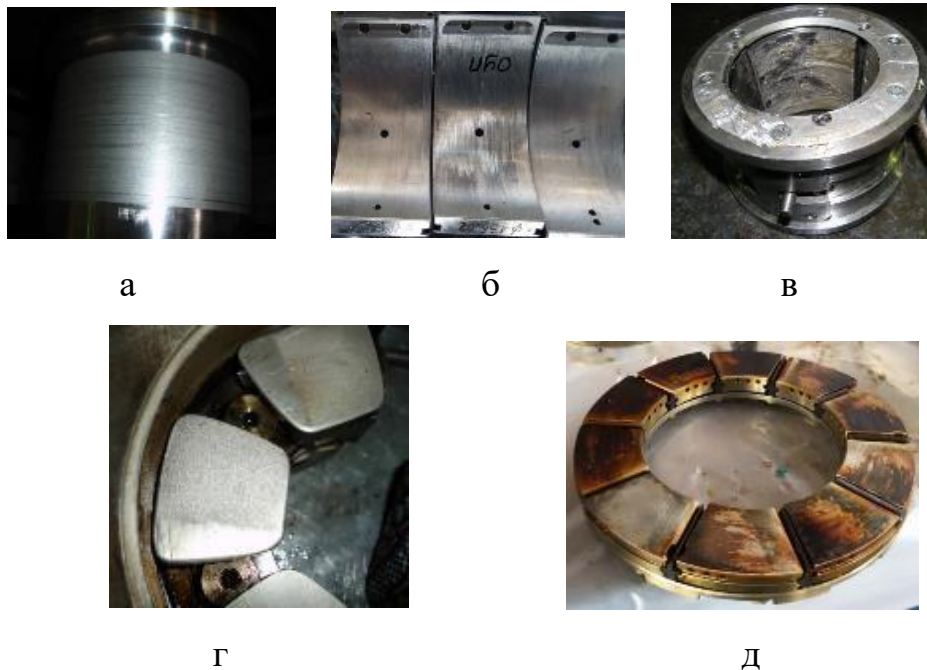


Рисунок 1.5 – Вигляд шипа валу ротора (а), поверхонь колодок опорного ПК (б, в) та колодок упорного ПК (г, д) в результаті абразивного зношування.

Іноді підшипники з бабіту замінюють на інші, більш тверді і з більшими механічними властивостями (бронзу, срібло та ін.), не завжди корисно, коли мастило має в своєму складі абразивні частки [37 - 39].

Якщо поверхневий шар деталі складового вузла НА вступає в хімічну взаємодію (реакцію) з агресивним оточуючим середовищем, то починає діяти корозійно-механічне зношування. В результаті на поверхні деталі формується шар, властивості якого відрізняються від властивостей основного металу і він стає нейтральним (пасивним) відносно оточуючого середовища і деякий час захищає поверхню від зношування. Але з часом поверхня знову руйнується і процес пасивації відновлюється. Процес пасивації іноді проводять спеціально для захисту від зношування і таким чином, підвищення довговічності деталей [40-42].

Механічне зношування є основним видом зносу, якому, тією чи іншою мірою, схильні практично всі з'єднання обертового та зворотно-поступального руху. На механічне зношування деталей впливають різні фактори: фізико-механічні властивості матеріалів пар тертя, режими роботи деталей (швидкість, температура, тиск), зовнішні умови (мастило, навколишнє середовище) та конструктивні особливості вузла [43].

Згідно [44] головним джерелом проблем з насосами є кавітація, коли поверхні деталей, які контактують з водою піддаються кавітаційному зношуванню.

Фізично це явище пояснюється тим, що в рідині завжди присутня якась кількість розчиненого газу. Під час руху рідини в ній можуть виникати зони розрідження. В результаті виділяються бульбашки. Потрапляючи з потоком у зону більш високих тисків, бульбашки схлюпнуються, виділяючи енергію, яка руйнує поверхню робочих коліс, рагликів і т. п. Ця енергія також створює ударні хвилі, що викликають вібрацію, що поширюється на робоче колесо, вал, ущільнення, підшипники, підвищуючи їх знос. При кавітаційному зносі поверхонь виробів поверхневий шар має вигляд видавлених кратерів, що періодично утворюються в процесі роботи деталей [26].

В [45] описані технологічні основи відновного ремонту розпилювачів форсунок дизельних двигунів - найдорожчих і відповідальних деталей мотору. Характерними видами зносу розпилювача є кавітаційний знос ущільнюючих конусів голки і корпуси і абразивний знос їх направляючих циліндричних поверхонь.

В [46] розрізняють наступні види явища кавітації. Це гідродинамічна кавітація, яка відбувається при збільшенні швидкості потоку рідини; акустична кавітація, що з'являється під час проходження акустичної хвилі. Коли в результаті різних причин кавітаційна бульбашка «захлопується» то виникає вибух енергії, який супроводжується ударною хвилею, з'являються гідравлічні мікроудари великої частоти і високого рівня ударних тисків [47-50].

Процес конденсації парового і стиснення газових бульбашок відбувається миттєво, частинки рідини переміщуються до центру з великою швидкістю, в результаті кінетична енергія частинок які зіштовхуються викликає місцеві гідравлічні мікроудари, що супроводжуються високими коливаннями температури і тиску в центрах бульбашок ($1000-1500\text{ }^{\circ}\text{C}$; $1500-2000\text{ кг/см}^2$) [51, 52].

Руйнування поверхневих шарів виробів, яке виникає в процесі втомленості, коли ділянки поверхні підлягають декільком деформуванням невеликих об'ємів їх поверхонь, як правило, супроводжується появою, як різних дефектів, так і частковим видаленням деяких ділянок речовини.

Таким чином, швидкість процесу зношування в значній ступені є результатом дуже багатьох і різних по своїй природі чинників – фізичних, технологічних і механічних властивостей як матеріалу, так і його поверхневого шару, добротності його механічної обробки, шорсткості поверхні, кількості і величини концентраторів напружень та ін. [53].

Яскравим зразком знищення від процесу, пов'язаного з втомленістю може бути пошкодження бабітового шару вкладишу ПК [54]. Спочатку процесу зношування тріщини з'являються в верхній частині шару бабіту, після чого вони можуть переміщуватись в глибинні шари. Коли вони досягають сталюї

підкладки то починають розвиватись паралельно її поверхні і відокремлювати окремі частки бабіту.

На рис. 1.6 показані зруйновані поверхні бабітового шару, нанесеного на сталюну основу.



Рисунок 1.6 - Руїнування бабітового шару вкладишів ПК.

Наявність вільної води, коли її загальний зміст у маслі перевищує межу розчинності (0,005-0,006%), стимулює перебіг мікробіологічних процесів, що призводять до старіння нафтових мастил [55].

Зношування при фреттинг-корозії (Ф-К) виникає при малих коливальних, циклічних, зворотно-поступальних переміщеннях з малими амплітудами. Для збудження Ф-К достатні переміщення поверхонь з амплітудою 0,025 мкм. Крім переміщень з малою амплітудою для Ф-К повинно бути також агресивне навколишнє середовище. Шкідливим наслідком Ф-К може стати дуже серйозна аварія [56].

Характерним прикладом дії Ф-К може бути пружна муфта (ПМ), яку ще називають із за відсутності мастила сухою муфтою. Коли пружна муфта працює то всі деталі її складових частин зношуються в результаті зносу їх поверхневих шарів під дією Ф-К [57,58].

Одним з способів боротьби з Ф-К є метод збільшення сили тертя, який полягає в підвищенні фактичної площі контакту деталей, що з'єднуються.

Складання нерухомих з'єднань може здійснюватися запресуванням валу в отвір, нагріванням деталі, що має отвір, або охолодженням валу. Таким чином, при складанні нерухомих з'єднань контактуючі поверхні деталей піддаються пружному і пластичному деформуванню. Причому ступінь деформації визначається твердістю поверхневого шару. Чим менша вихідна твердість поверхневого шару, тим більше інтенсивність деформації і резерви до її підвищення.

1.3 Аналіз технологічних методів зміцнення та відновлення поверхонь відповідальних деталей НА

До насосних агрегатів, що використовують при зрошенні відносять привід (як правило це електродвигун), з'єднувальна муфта (як правило зубчаста) і ВН.

Деталі машин, які працюють в умовах абразивного та інших видів зносу, як правило зміцнюють шляхом наплавлення або напилювання на їх поверхню більш твердих та більш зносостійких металів [59-61], або за рахунок хіміко-термічної обробки (ХТО), шляхом введення в поверхневий шар легуючих елементів [62, 63].

В ремонтних технологіях, дуже часто, використовують шкідливі для оточуючого середовища та робітників такі технології як зварювання та наплавлення [64-69]. При використанні цих небезпечних технологій в організм працівників можуть потрапити дуже небезпечні елементи і визвати професійні захворювання [70-72]. До дуже небезпечних методів, що використовують при ремонтах, можна додати і плазмове напилення. Ця технологія використовується також при зміцненні поверхонь деталей [73].

Згідно [74], термічна обробка та ХТО деталей відносяться до найпоширеніших факторів ризику.

1.4 Аналіз методів виготовлення бабітових підшипників ковзання

Як уже згадувалось вище до деталей, від яких залежить надійність та довговічність НА є ПК відцентрових насосів. При роботі ВН поверхневі шари вкладишів підшипникових вузлів контактують з поверхневими шарами шипа або цапфи валу. Вкладиші ПК заливують бабітом, який представляє собою антифрикційний сплав. Крім традиційної технології заливки бабітом існують і інші методи його нанесення на поверхні деталей (напилення, гальваніка та інші [75–79]. Бабітові покриття можуть наносити на зовнішні (а) і внутрішні (б) криволінійні, а також плоскі (в) поверхні (рис. 1.7).

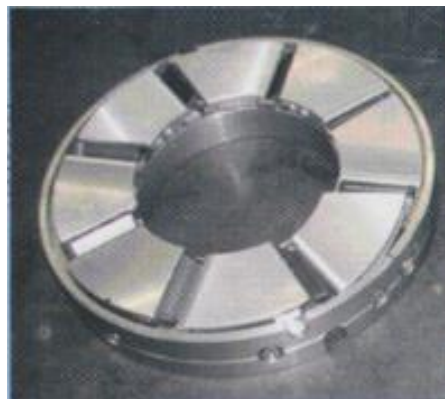
Незважаючи на антифрикційність бабітових покриттів (низький коефіцієнт тертя, швидка припрацьованість, пластичність та інші) вони також поступово зношуються.



а



б



в

Рисунок 1.7 -Бабітові покриття деталей підшипників ковзання, нанесені на різні поверхні [28].

Зазначені вище явища, згідно зносу бабітових покриттів, мають місце у разі порушення будь-якого звичайного функціонування ПК і може здійснитись в результаті: забрудненого мастила; підвищення температури олії; неякісної олії; попадання в мастило абразиву і таке інше.

Як правило, для заливки бабіту використовують сталь 20 (ДСТУ 1050-88). Іноді використовують чавун або олов'яну або, латунь. При використанні чавунних вкладишів на їх поверхню, перед нанесенням бабіту будь якої марки,любим відомим способом наносять нікель, який забезпечує біль міцний зв'язок бабіту з основою [80].

У [81, 82] стверджується, що якість зв'язку бабітового шару з сталлюю основою вкладишу в значному ступеню залежить від технології його нанесення, а також попередньої підготовки поверхні під заливку, її шорсткості відсутності бруду.

В [83 - 85] теоретично і практично доведено, що наявність проміжного шару з міді, нанесеного методом електроіскрового легування (ЕІЛ), між сталлюю підкладкою і бабітовим шаром значно підвищує міцність зчеплення між ними.

В процесі подальших досліджень до практичної реалізації був запропонований новий метод формування на сталльних підкладках бабітових шарів нанесених методом ЕІЛ [86]

1.5. Аналіз техногенно і екологічно безпечних технологій зміцнення та відновлення деталей насосних агрегатів

Альтернативними технологіями, виготовлення та ремонту деталей машин у тому числі й тих, що використовують в сільському господарстві, можуть бути екологічно безпечні технології. До таких технологій слід віднести нанесення на зношені поверхні металополімерних матеріалів (МПМ), а також метод поверхневого пластичного деформування (ППД) за допомогою якого можливо не тільки зміцнювати поверхневі шари деталей, а і відновлювати поверхні [87].

Сюди також слід віднести і технологію ЕІЛ – процес взаємодії матеріалу анода і катода при уніполярному переносі з анода на катод, який є деталлю [88–90], який має низку присутніх йому особливостей (локальність дії, міцне зчеплення покриття з основою, відсутність деформування [91, 92]. До недоліків ЕІЛ слід віднести підвищення шорсткості поверхонь та наявність в поверхневому шарі напружень що розтягують, а також обмеження товщини відновлювального шару [93 - 95].

Слід відмітити, що метод ЕІЛ може бути альтернативою методу ХТО, тому що за його допомогою можна проводити процеси алітування, цементації та інші які традиційно виконуються ХТО [97, 98].

В останні роки з'являються роботи направлені на збільшення товщини поверхневого шару, що наносять методом ЕІЛ. Так в [99–101] досліджено процеси нанесення покриттів, сформованих одним електродним матеріалом, наприклад, бронзою БрКМц3-1, при створенні «бугристих» покриттів [99–101]. Також якість поверхневого шару покращують за рахунок нанесення покриттів у яких тверді зносостійкі матеріали поєднуються з м'якими антифрикційними металами [102, 103], або з ЕІЛ поєднується декілька технологій: лазерне опромінювання, ППД або нанесення МПМ [104-109].

В [110, 111] доведено перевагу методу ЕІЛ над зварюванням та наплавленням, коли порівнювали кількість шкідливих викидів при використанні в якості матеріалу деталі нержавіючу корозійно стійку сталь 12Х18Н10Т, а в якості матеріалу електроду при ЕІЛ та зварюванні електроди, відповідно Т15К6 і ОК61.30 Ø 2,5 мм. При ЕІЛ шкідливі викиди майже відсутні. Порівняння впливу на освітлення також дає перевагу методу ЕІЛ.

В [112] встановлено, що 40 % зупинки машин відбувається при зносі поверхневих шарів деталей $\leq 0,3$ мм.

В сучасних технологіях, як виготовлення так і ремонту, все більше застосовують МПМ. Їх використовують для забезпечення герметичності з'єднань, для захисту поверхонь деталей машин від абразивного і кавітаційного зносу, корозії, ерозії, тощо [113, 114]. Згідно [115] нові технології з

застосуванням МПМ дозволяють збільшити термін служби деталей і вузлів машин, що працюють в умовах динамічних навантажень, в порівнянні з традиційною технологією відновлення наплавленням з подальшою механічною обробкою, більш ніж в 1,8-2,0 рази.

Останнім часом у ремонтному виробництві застосовуються полімерні покриття з різними наповнювачами та властивостями [116, 117]. Для відновлення підшипникових отворів корпусних деталей рекомендують наносити композиції на основі епоксидної смоли, з затвердінням їх при нагріванні за ступінчастим циклом або в магнітному полі, еластомери ГЕН - 150 (В), ПС - 40, герметик - 6Ф. Зазначені методи прості та економічні, частково або повністю запобігають Ф-К [118].

Однією з особливостей методу ЕІЛ є зменшення суцільності покриття при досить великих режимах легування. Коли енергія розряду W_p перевищує 1,0 Дж зменшується суцільність (наявність наскрізних пір) покриття, яке формується [119]. В такому разі, з метою покращення якості поверхневих шарів нерідко поєднують ЕІЛ з методом МПМ. Так в [120, 121] запропоновано нові технологічні рішення, які включають нанесення на зношену поверхню сталевих та чавунних деталей покриття ЕІЛ, а потім на сформовану методом ЕІЛ поверхню наносять принаймні один шар МПМ, який перед полімеризацією армують, хоча б одним шаром дроту. В даному випадку при використанні комбінованої технології ЕІЛ+МПМ обидві технології доповнюють одна іншу.

Доцільно, як при виготовленні так і при відновленні деталей використовувати комбіновану технологію ЕІЛ+ППД [122], коли стійкість деталей може зрости до 6 разів [123]. Слід зазначити, що в останні роки, серед методів ППД все більш використовують метод безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО).

Економічна доцільність ремонту обумовлена тим, що в деталях машин зношується тільки поверхневий шар, який можливо відновити і при цьому її довговічність може бути більшою від той, яка була у нової деталі [124], а процеси, що відбуваються в поверхневому шарі слід враховувати на всіх стадіях його життєвого циклу [125].

1.6. Висновки

1. Аналіз обладнання, яке використовують в системах зрошення, дав підстави стверджувати, що якість процесу дощування, напряму залежить від надійності та довговічності НА.

2. Аналіз особливості експлуатації НА показав, що його основні складові (привід, муфти, відцентрові насоси) знаходяться в умовах негативного оточуючого середовища, а їх деталі підлягають різним видам зносу: абразивному, корозійно-механічному, кавітаційному та іншим, вплив яких не зупиняється адже під час коли насос не працює.

3. В дійсний час технології виготовлення, відновлення та зміцнення окремих деталей обладнання НА, такі як: зварювання, наплавлення, плазмове напилення, ХТО та інші, крім того, що мають значні недоліки вони негативно впливають на оточуюче середовище.

4. Аналіз впливу науково-технічного прогресу на технології, які використовують при виконанні поточного та капітального ремонтів сільськогосподарської техніки дозволив виділити технології ЕІЛ, ППД та МПМ, які мало в чому поступаються традиційним, а іноді перевищують їх.

5. Розширенням кола технологій, спрямованих на покращення параметрів якості поверхонь деталей і їх елементів можуть бути як комбіновані технології ЕІЛ, що складаються з поетапного легування поверхні різними матеріалами, так і за рахунок послідовного використання двох чи декількох технологій, які корисно доповнюють одна іншу.

6. Надійність і довговічність НА можливо збільшити шляхом модернізації його приводу за рахунок заміни традиційного ущільнення підшипникового вузла на магніторідинний герметизатор, основною перевагою якого є можливість забезпечення практично повної 100% герметизації підшипника, а також заміни зубчастої муфти на пружну з гнучкими елементами, яка має ряд переваг.

7. При виборі технологій підвищення якості поверхневого шару під час виготовлення та відновлення деталей НА необхідно використовувати систему

направленого вибору, коли враховують якість поверхні на кожній стадії життєвого циклу виробу.

8. Роботи [37 - 39, 111, 126, 127] опубліковані за участю автора.

1.7. Мета та завдання досліджень

Метою роботи є підвищення довговічності насосних агрегатів, що використовують в зрошувальному землеробстві, шляхом удосконалення технології виготовлення та відновлення їх деталей, за рахунок використання ефективних та екологічно безпечних технологій формування захисних покриттів та модернізації приводу і з'єднувальної муфти.

Завдання для дослідження:

1. Розробити систему спрямованого вибору технології нанесення бабітового покриття на вкладиші ПК.
2. Удосконалити технологію зміцнення і відновлення поверхонь валів, що зношуються в процесі роботи відцентрових насосів, за рахунок використання екологічно безпечних технологій ЕІЛ, ППД і нанесення МПМ та їх комбінацій.
3. Розробити математичну модель зносу бабітових покриттів вкладишів ПК.
4. Розробити математичну модель відновлення бабітових покриттів вкладишів ПК.
5. Провести модернізацію НА шляхом заміни зубчастої муфти на більш прогресивну пружну муфту з гнучкими елементами.
6. Розробити і впровадити у виробництво нову екологічно безпечну технологію виготовлення і відновлення деталей насосних агрегатів, які використовують в зрошувальному землеробстві.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СПРЯМОВАНОГО ВИБОРУ НЕОБХІДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ

2.1. Обов'язкові вимоги при відборі необхідної технології при виготовленні та ремонті деталей НА

При відборі необхідної технології при виготовленні та ремонті деталей необхідно користуватись системним підходом, як при використанні методів дослідницької, так і конструкторської діяльності. В дійсній роботі дуже важливим є використання методу спрямованого вибору, який підпорядковується системному аналізу тобто набору потрібних методів дослідження з яких буде обраний самий корисний та раціональний.

Щодо дослідження якості поверхневих шарів виробів цей метод може мати конкретний вираз. Система спрямованого вибору необхідної технології насосних агрегатів, включає в себе увесь їх життєвий цикл, і складається:

- з матеріалу деталей окремих вузлів та їх елементів;
- технології виготовлення деталей окремих вузлів та їх елементів;
- технології ремонту та відновлення працездатності та ін.

Всі вони, як матеріал окремих деталей, так і всі технології аналізуються згідно набору потрібних методів дослідження про який згадувалося вище. При цьому також дуже важливо обов'язково враховувати вплив методів, які обираються, один на одного, що суттєво позначиться виробі в цілому.

Сукупність проблем які потрібно проаналізувати і вирішити при виборі необхідної технології для виготовлення та ремонту деталей насосних агрегатів, визначають предметну область методики у цьому дослідженні.

На рис. 2.1 представлений взаємний вплив інформаційної та матеріальної сфер, які дуже впливають на якість поверхневих шарів деталей при виготовленні та існуванні насосних агрегатів.



Рисунок 2.1 - Взаємозв'язок інформаційної та матеріальної сфер при виготовленні та існуванні НА.

Останнім часом, з стрімким розвитком науково технічного прогресу, появою великої кількості нових і перспективних технологій формування якості поверхневих шарів деталей, підвищується важливість інформації – інформаційної сфери. Однак відсутність виявлених кореляційних залежностей

між технологічними параметрами обладнання і параметрами якості її поверхні (шорсткості, хвильності, мікротвердості, глибини зміцненого, або розміцненого поверхневого шару, суцільності покриття, залишкових напружень та інших), потребує проведення необхідних досліджень для відбору необхідної технології при виготовленні та ремонті деталей НА.

Вплив науки та техніки на підготовку науково-технологічну підготовку (НТП) виробництва пов'язаний з конструкторською та технологічною підготовку.

При відпрацюванні деталей насосних агрегатів на технологічність потрібно враховувати всі стадії їх життєвого циклу (рис. 2.2), при цьому відбувається коригування властивостей поверхонь деталей та обирається необхідна технологія для виготовлення. Технологічність обраної конструкції впливає на екологічні та інші показники виробництва, показники якості виробів, та методи їх досягнення.

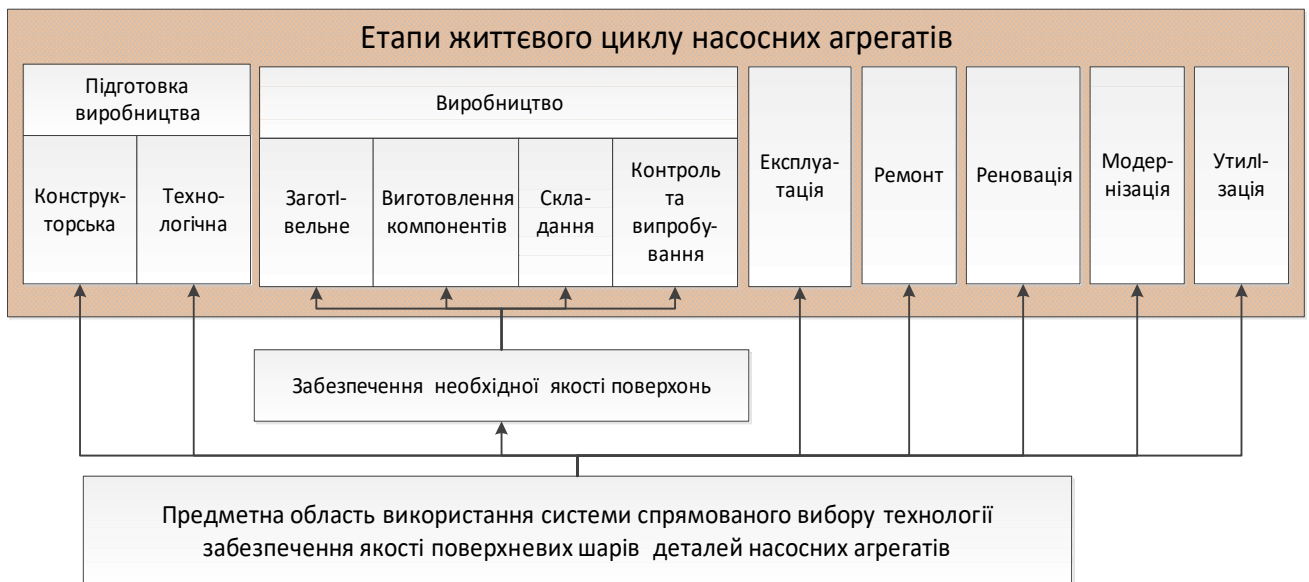


Рисунок 2.2 – Етапи життєвого циклу НА.

Аналіз етапів життєвого циклу НА дає підставу стверджувати, що на стадії експлуатації виробу виявляються властивості поверхневих шарів деталей, які

були сформовані при забезпеченні параметрів якості поверхонь на етапі виробництва. По мірі старіння виробу, з'являється необхідність в корегуванні цих параметрів в сторону забезпечення більшої його надійності, що можливо досягнути за рахунок розвитку науково-технічної підготовки виробництва, яка за цей час суттєво змінилась.

Подальша експлуатація НА тісно пов'язана з його ремонтом. Ці етапи життєвого циклу НА тісно пов'язані між собою. Так від правильної експлуатації залежить термін коли потрібно відправляти вироби на ремонт і навпаки від якісного ремонту залежить термін знаходження НА в належному стані.

Використовуючи результати наукових досліджень, що плануються в даній роботі, Не слід забувати і про реновацію відповідальних деталей і вузлів виробів після якої їх якість стає набагато краще нових (зростає надійність і довговічність, корозійна і ерозійна стійкість і т. ін.).

Своєчасне корегування параметрів якості поверхневих шарів деталей на всіх етапах їх життєвого циклу прискорить їх **реновацію**.

Науково-технічна підготовка виробництва включає в себе швидке реагування на появу нових конструкторсько - технологічних рішень, які дозволяють провести **модернізацію** виробу. Наприклад, з появою нових підшипників ковзання, які витримують значно більші навантаження, з'явилась можливість, за рахунок збільшення розміру робочих коліс (ваги ротору), провести модернізацію відцентрового насосу і підвищити його продуктивність.

Не менш важливим етапом життєвого циклу НА є його утилізація. При утилізації потрібно не тільки зберегти усі важливі матеріали, а і забезпечити екологічну безпеку при похованні шкідливих речовин.

Дуже важливим є те, що коли вирішується задача поліпшення якості поверхневих шарів деталей НА, актуально враховувати не тільки вартісні, а й екологічні характеристики задіяних при цьому методів, при яких досягається ця необхідна якість (рис. 2.3).

Витрати пов'язані з екологічними показниками виробів потрібно додавати до загальних витрат.

Враховуючи те, що від якості бабітових підшипників ковзання залежить довговічність і надійність роботи НА нами, в дійсній роботі, використовується система спрямованого вибору найбільш необхідної технології нанесення антифрикційних бабітових поверхневих шарів на сталі вкладки ПК відцентрових насосів при їх виготовленні та ремонті.



Рисунок 2.3 – Урахування вартісних та екологічних характеристик при вирішенні задачі поліпшення якості поверхневих шарів деталей НА.

2.2. Набор методів нанесення бабітових покриттів на сталі вкладки підшипників ковзання

Поверхні підшипників ковзання з нанесеним бабітовим покриттям зношуються внаслідок пластичних деформацій, усталеного пошкодження та ін. Стійкість до зносу, нанесеного бабітового шару, в значній мірі залежить від

міцності з'єднання його з основою, жорсткості валу та постелі під підшипниками.

Більшість способів формування поверхонь бабітових ПК слід розглядати як конкуруючі між собою і результат їх нанесення в значній мірі має різні відзнаки, як економічні, так і трибологічні (рис. 2.4).

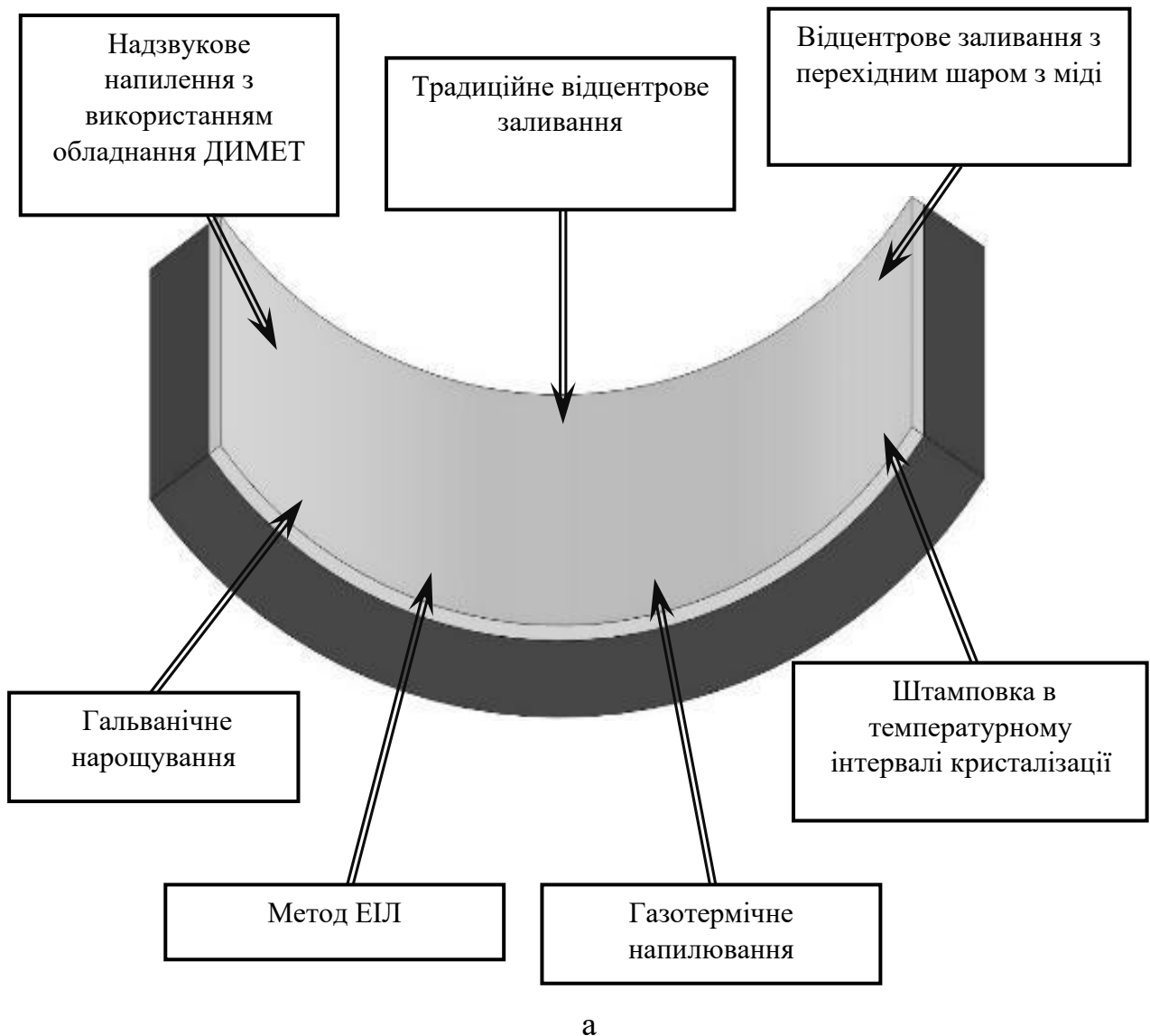


Рисунок. 2.4 – Деякі способи нанесення бабітового шару на сталеву підкладку вкладишів опорного (а) ПК.

В результаті проведених досліджень (див. розділ 1) досить перспективними можуть бути поверхневі антифрикційні шари, які сформовані з попереднім застосуванням перехідних шарів з міді, які наносяться методом ЕІЛ

і значно підвищують міцність з'єднання сталеві підкладки з антифрикційним бабітовим шаром. Крім цього хімічний склад бабіту повинен відповідати ГОСТу 1320-74, тобто перед виготовленням бабітових підшипників необхідно проводити вхідний контроль матеріалів, що використовуються.

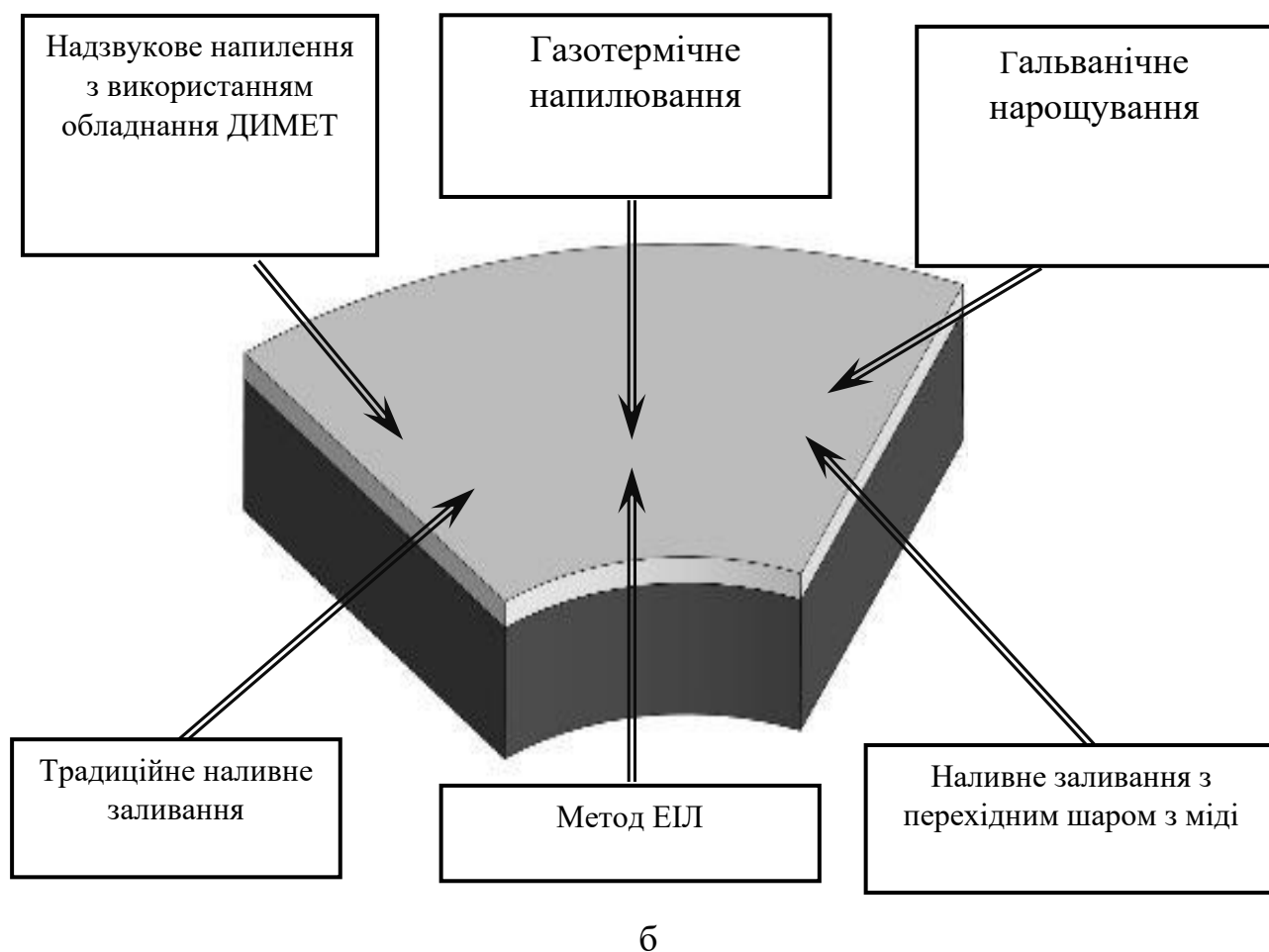


Рисунок. 2.4 – Деякі способи нанесення бабітового шару на сталеву підкладку вкладишів упорного (б) ПК.

Враховуючи те, що існує велика кількість методів, пов'язаних з нанесенням бабітових покриттів на сталю підкладку, перед технологами завжди стоїть задача вибору більш перспективного.

2.3. Спрямований вибір технології нанесення бабітових покриттів. Критерії вибору при досягненні показників якості поверхні деталей

Враховуючи, що методів формування на вкладишах ПК бабітових покриттів існує велика кількість (див. рис. 2.4) і важко без проведення додаткових порівняльних досліджень визначити який з них більш раціональний, з'являється гостра необхідність у створенні математичної моделі, яка б пов'язувала експлуатаційні параметри в яких працює ПК (швидкість ковзання, питомий тиск, навантаження на колодку, умови змащення і ін.) і параметри, які визначають зношування поверхні бабітового покриття (ваговий знос – $\Delta m_{\text{бп}}$, лінійний знос – $\Delta h_{\text{бп}}$).

Порівняння параметрів зносу дозволить вибрати більш раціональний спосіб формування бабітового покриття, тобто здійснити спрямований їх вибір.

В якості критеріїв показників зношування поверхонь деталей традиційно використовують ті, що відносяться до неприпустимих видів зношування (кількість циклів до поломки, твердість та інші) при тертя. В нашому випадку присутній нормальний процес тертя бабітового покриття по сталій поверхні валу, коли відбувається механічно-хімічний знос та його основний прояв – окислювальний знос. Зношування бабітового покриття при нормальному процесі зношування показує термін роботи виробів – їх довговічність, продуктивність та економічність.

Система тертя є істотно термодинамічною, а закономірності перетворення енергії із зовнішньої механічної в енергію внутрішніх процесів визначаються структурним станом матеріалів, видом кристалічних решіток і фізико-хімічною дією мастильних середовищ.

Згідно [128] коли обирають потрібний метод для обробки матеріалу деталі треба користуватись як економічними критеріями, розглянутими вище, а і енергетичними.

У цьому розділі розглянемо енергетичні критерії, що надають визначальний вплив на зносостійкість, сформованих різними технологіями, поверхневих шарів [129].

Нами, в умовах нормального тертя та зношування, проводились порівняльні випробування на знос бабітових покриттів, сформованих технологіями приведеними в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Ваговий знос зразків бабітових покриттів, нанесених різними способами

№ п/п	Метод нанесення	Величина вагового зносу, Δm , $\text{кг} \cdot 10^{-3}$ при тривалості випробування, год			
		2	4	6	8
1	Надзвукове напилення.	0,034	0,044	0,050	0,056
2	Відцентрове заливання.	0,027	0,036	0,041	0,046
3	Відцентрове заливання з перехідним шаром з міді.	0,026	0,034	0,037	0,041
4	Наливне заливання.	0,025	0,032	0,035	0,038
5	Наливне заливання з перехідним шаром з міді.	0,023	0,029	0,031	0,033
6	Метод ЕІЛ.	0,018	0,023	0,024	0,025

Зносостійкість покриттів визначалася за схемою «диск – колодка». Перед кожним іспитом на зразок зі сталі 40Х капали одну каплю турбінного мастила. В процесі досліджень швидкість (V_k) ковзання становила 0,780 м/с, питомий тиск – 5,0 МПа, навантаження (P) на колодку – 1000 Н, тривалість (T) випробувань – 8,0 год, шляху (S_t) тертя 22,5 км. Після приробітку колодки встановлювали на машину і проводився експеримент. Після кожних 2-х годин знімали свідчення ваги.

Крім того, в процесі роботи вимірювали момент тертя, контролювали швидкість ковзання та навантаження у зоні тертя.

В результаті проведення експериментальних досліджень було отримано величини вагового зносу зразків, які представлено в табл.2.1.

За отриманими даними будуємо графіки залежності зносу від часу роботи тертя для кожного методу (рис. 2.5).

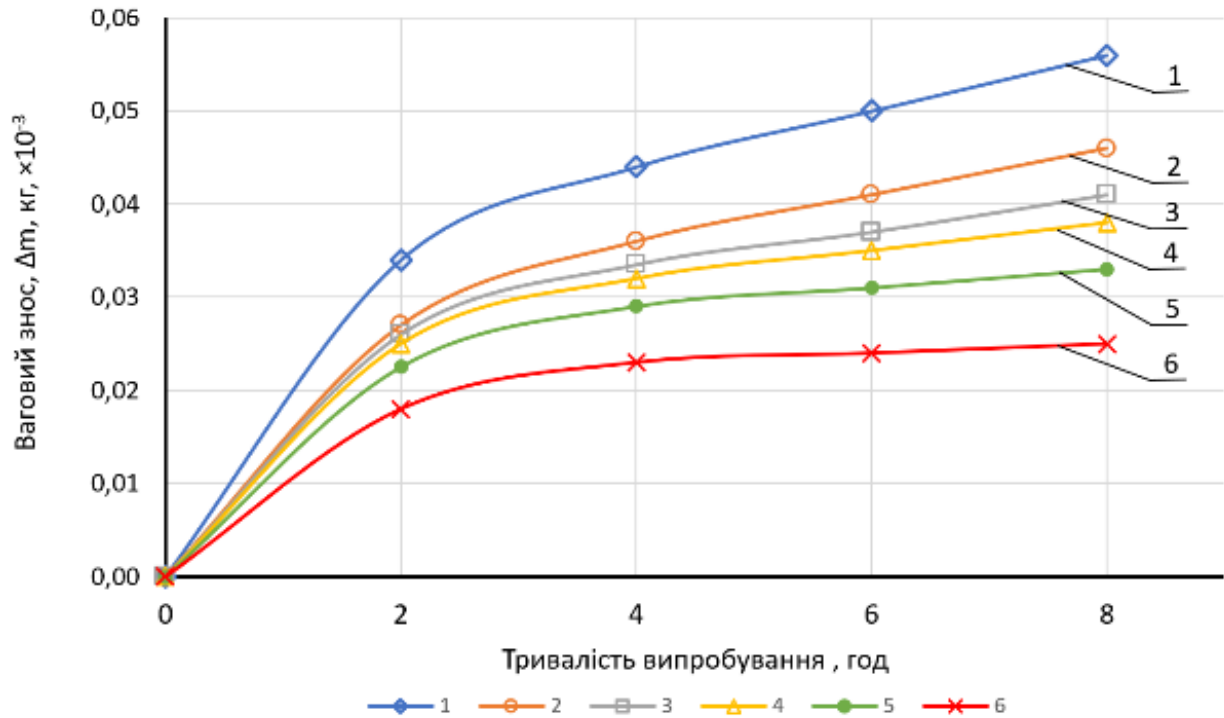


Рисунок 2.5 – Графік залежності вагового зносу від тривалості випробування, де 1- 6 згідно табл. 2.1.

Роботу тертя за одну годину для кожної пари тертя можна визначити за формулою

$$A_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} \cdot P \cdot V \cdot t,$$

де $f_{\text{тр}}$ - коефіцієнт тертя; P - навантаження на колодку; V - швидкість ковзання; t – час випробування (3600 с).

Слід відзначити, що коефіцієнт тертя для покриття (1), сформованого методом надзвукового напилення складає $\sim 0,046$, а для усіх інших $\sim 0,040$.

Таким чином, робота тертя за 1 годину становитиме:

для покриття 1

$$A_{\text{тр}} = 0,046 \cdot 1000 \cdot 0,78 \cdot 3600 = 129168 \text{ Дж};$$

для інших

$$A_{\text{тр}} = 0,040 \cdot 1000 \cdot 0,78 \cdot 3600 = 112320 \text{ Дж}.$$

Залежність вагового зносу бабітових покриттів, сформованих різними технологіями, від тривалості випробування від оберненої роботи тертя ($A_{\text{тр}}^{-1}$) представлено на рис. 2.6.

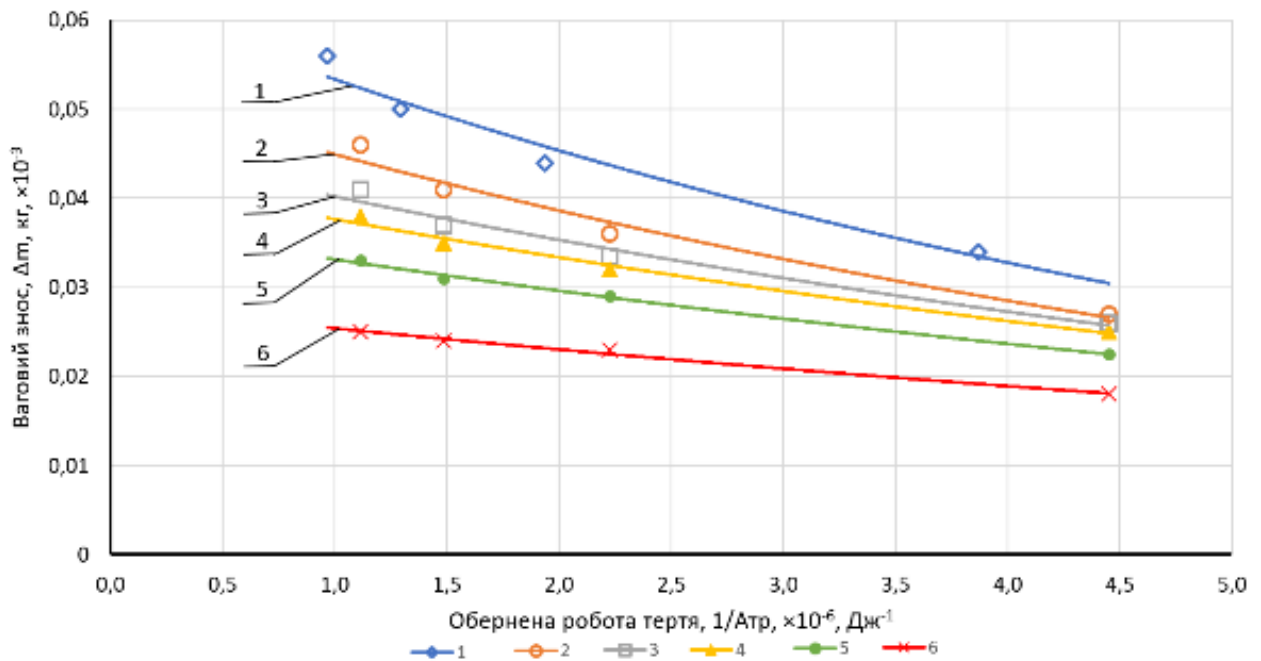


Рисунок 2.6 – Залежність вагового зносу бабітових покриттів, сформованих різними технологіями від оберненої роботи тертя $A_{\text{тр}}^{-1}$, де 1-6 згідно табл. 2.1.

Аналіз рис. 2.5 показує, що між роботою тертя $A_{\text{тр}}$ і ваговим зносом бабітового покриття $\Delta m_{\text{бп}}$ існує зростаюча експоненційна залежність, а між $A_{\text{тр}}^{-1}$ і $\Delta m_{\text{бп}}$ (рис. 2.6) убутна експоненційна залежність.

Таким чином з рисунка 2.6 витікає, що $\ln \Delta m_{\text{б.п.}}$ пропорційне зворотної роботі тертя ($A_{\text{тр}}^{-1}$), а також енергії активації процесу зношення (E_A) (рис. 2.7).

Тобто

$$\ln \Delta m_{\text{б.п.}} \sim (-A_{\text{тр}})^{-1}, E_A. \quad (2.1)$$

Звідси

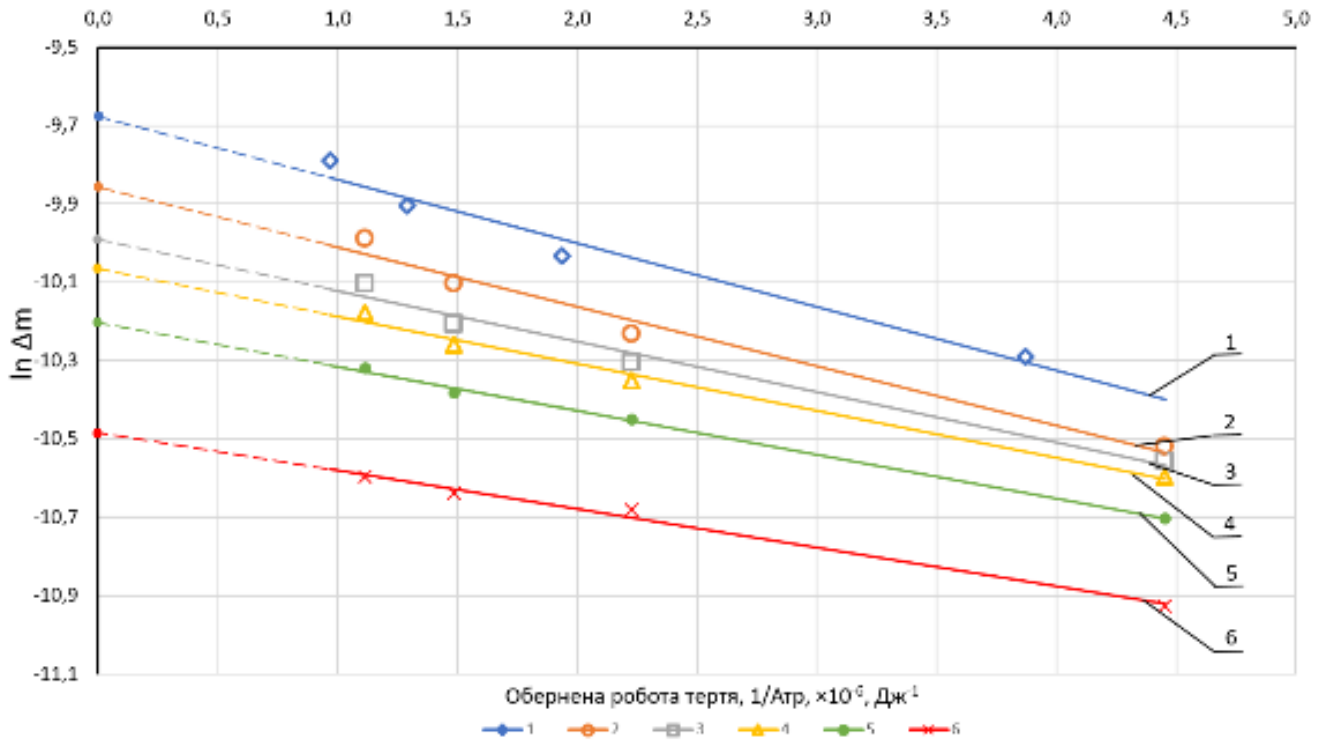


Рисунок 2.7 – Графіки залежності логарифму вагового зносу від оберненої роботи тертя, де 1- 6 згідно табл. 2.1.

$$\Delta m_{\delta.n.} = C \cdot e^{\frac{-E_A}{A_{тр.}}}, \quad (2.2)$$

де $C = \Delta m_{\delta.n.\max}$ -максимальний знос

Тепер

$$\Delta m_{\delta.n.} = \Delta m_{\delta.n.\max} \cdot e^{\frac{-E_A}{A_{тр.}}} \quad (2.3)$$

Рівняння (2.3) можна назвати як рівняння зносу.

Приймаючи в (2.3)

$$E_A = A_{тр} \quad (2.4)$$

маємо:

$$\frac{\Delta m_{\delta.n.}}{\Delta m_{\delta.n.\max}} = e^{-1} \quad (2.5)$$

Тоді можна сказати, що енергія активації E_A є фізичною величиною при якій $\Delta m_{\delta.n.} = \frac{\Delta m_{\delta.n.\max}}{e}$, тобто $\Delta m_{\delta.n.}$ в e раз менше $\Delta m_{\delta.n.\max}$. Цю величину можна

приймати за константу рівняння зносу бабітових покриттів. Розмірність $[E_A] = \text{Дж}$.

Для розрахунку лінійного зносу бабітового покриття треба рівняння зносу (2.3) представити як

$$\Delta h_{\bar{o}.n.} \cdot S \cdot r_{\bar{o}.n.} = \Delta h_{\bar{o}.n.\max} \cdot S \cdot r_{\bar{o}.n.\max} \cdot e^{\frac{-E_A}{A_{mp}}}, \quad (2.6)$$

де S – площа зносу; r і $r_{\bar{o}.n.\max}$ – відповідно, щільність поверхні при зносі що встановився і при максимальному зносі.

Виконав перетворення будим мати

$$\Delta h_{\bar{o}.n.} = \Delta h_{\bar{o}.n.\max} \cdot \frac{r_{\bar{o}.n.\max}}{r_{\bar{o}.n.}} \cdot e^{\frac{-E_A}{A_{mp}}}. \quad (2.7)$$

Приймаючи в (2.7)

$$E_A = A_{\text{тр}}$$

Будим мати

$$\Delta h_{\bar{o}.n.} = \Delta h_{\bar{o}.n.\max} \frac{r_{\bar{o}.n.\max}}{r_{\bar{o}.n.}} \cdot e^{-1}. \quad (2.8)$$

Або

$$\frac{\Delta h_{\bar{o}.n.} \cdot r_{\bar{o}.n.}}{\Delta h_{\bar{o}.n.\max} \cdot r_{\bar{o}.n.\max}} = e^{-1} \quad (2.9)$$

Що співпадає з (2.5)

Тоді можна сказати, що енергія активації E_A є фізичною величиною при якій $\Delta h_{\bar{o}.n.} \cdot r_{\bar{o}.n.}$ в e раз менше $\Delta h_{\bar{o}.n.\max} \cdot r_{\bar{o}.n.\max}$.

Зазначимо, що при $r_{\bar{o}.n.\max} = r_{\bar{o}.n.}$,

$$\Delta h_{\bar{o}.n.} / \Delta h_{\bar{o}.n.\max} = e^{-1}.$$

Величину роботи яку треба виконати, щоб отримати ваговий ($\Delta m_{\bar{o}.n.x}$) або лінійний знос ($\Delta h_{\bar{o}.n.x}$), можна визначити з рівнянь (2.3) та (2.7).

Тоді відповідно:

$$A_{\text{тр.}} = \frac{E_A}{\ln \frac{\Delta m_{\text{б.п. max}}}{\Delta m_{\text{б.п. x}}}}; \quad (2.10)$$

$$A'_{\text{тр.}} = \frac{E_A}{\ln \frac{\Delta h_{\text{б.п. max}} \cdot r_{\text{б.п. max}}}{\Delta h_{\text{б.п. x}} \cdot r_{\text{б.п. x}}}}. \quad (2.11)$$

Визначення констант рівняння зносу

Найбільшу величину вагового зносу, $\Delta m_{\text{б.п. max}}$ – константу рівняння зносу, можна визначити по величині відрізка, що відтинається на осі ординат точкою перетину продовженої прямої графіка залежності логарифму вагового зносу від оберненої роботи тертя (рис. 2.7).

Як видно з рис. 2.7, продовження кривої 1 до перетину з віссю ординат (при $1/A_{\text{тр}}=0$) перетинає її в точці -9,68. Таким чином:

$$\ln \Delta m_{\text{б.п. max}} = -9,68,$$

$$\Delta m_{\text{б.п. max}} = e^{-9,68} = 0,063 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Аналогічно визначаємо максимальний ваговий знос для інших зразків. Отримані результати заносимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Константи рівняння зносу бабітових покриттів, нанесених різними способами

Метод зміцнення	$\Delta m_{\text{б.п. max}}, \times 10^{-3}, \text{ кг}$	$\Delta h_{\text{б.п. max}}, \times 10^{-3}, \text{ м}$	$E_A, \text{ Дж}$
1	0,063	0,085	162400
2	0,052	0,071	151700
3	0,046	0,062	129300
4	0,042	0,058	120500
5	0,037	0,050	112200
6	0,028	0,038	98200

Друга константа рівняння зносу (2.7) – енергія активації E_A визначається, як $E_A = \text{tg} \alpha$, де α - кут нахилу прямих залежностей $\ln \Delta m_{\text{б.п.}}$ від $(A_{\text{тр}})^{-1}$.

Результати розрахунку енергії активації (константи лінійного зносу) процесу зносу E_A занесені в табл. 2.2.

Для визначення лінійного зносу бабітового покриття $\Delta h_{\text{б.п.}}$ скористаймося формулою зв'язку між масою та об'ємом:

$$\Delta m_{\text{б.п.}} = \rho \cdot \Delta V_{\text{б.п.}} = \rho \cdot F \cdot \Delta h_{\text{б.п.}},$$

де ρ – щільність матеріалу зразка, для бабіту 7380 кг/м³;

F – площа поверхні контакту зразка та диску, мм²;

$$F = a^2 = 10^2 = 100 \text{ мм}^2.$$

Звідки

$$\Delta h_{\text{б.п.}} = \frac{\Delta m_{\text{б.п.}}}{\rho \cdot F}.$$

Виконавши перерахунок вагового зносу в лінійний (табл. 2.3), будемо графік залежності величини лінійного зносу від тривалості випробування, який представлено на рис. 2.8.

Таблиця 2.3 – Лінійний знос зразків бабітових покриттів, нанесених різними способами

№ п/п	Метод нанесення	Величина лінійного зносу, $\times 10^{-3}$ м, при тривалості випробування, год			
		2	4	6	8
1	Надзвукове напилення.	0,046	0,060	0,068	0,076
2	Відцентрове заливання.	0,037	0,049	0,056	0,062
3	Відцентрове заливання з перехідним шаром з міді.	0,035	0,045	0,050	0,056
4	Наливне заливання.	0,034	0,043	0,047	0,051
5	Наливне заливання з перехідним шаром з міді.	0,030	0,039	0,042	0,045
6	Метод ЕІЛ.	0,024	0,031	0,033	0,034

У відповідності з методикою визначення констант рівняння зносу, будуюмо графік залежності лінійного зносу від оберненої роботи тертя (рис. 2.9) та виконуємо логарифмування осі лінійного зносу. Отримана залежність представлена на рисунку 2.10.

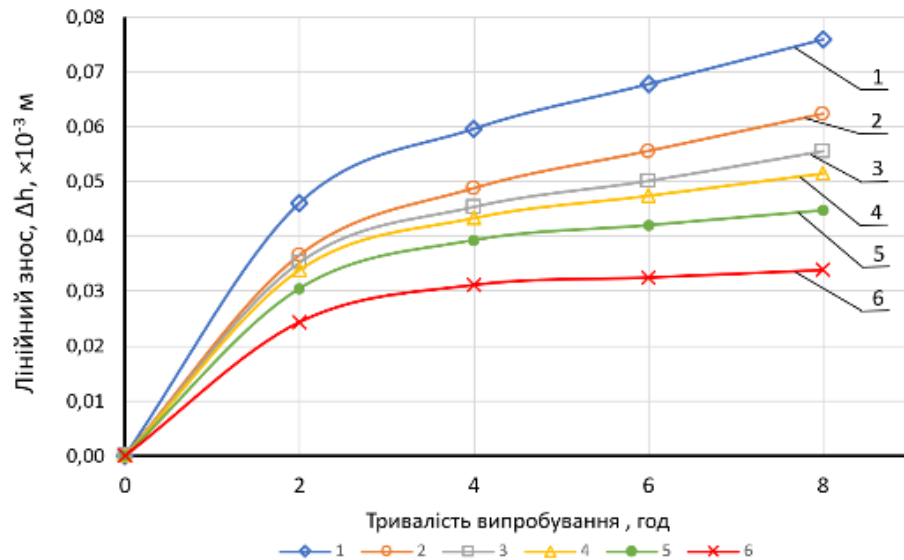


Рисунок 2.8 – Залежність лінійного зносу від тривалості випробувань, де 1-6 згідно табл. 2.3.

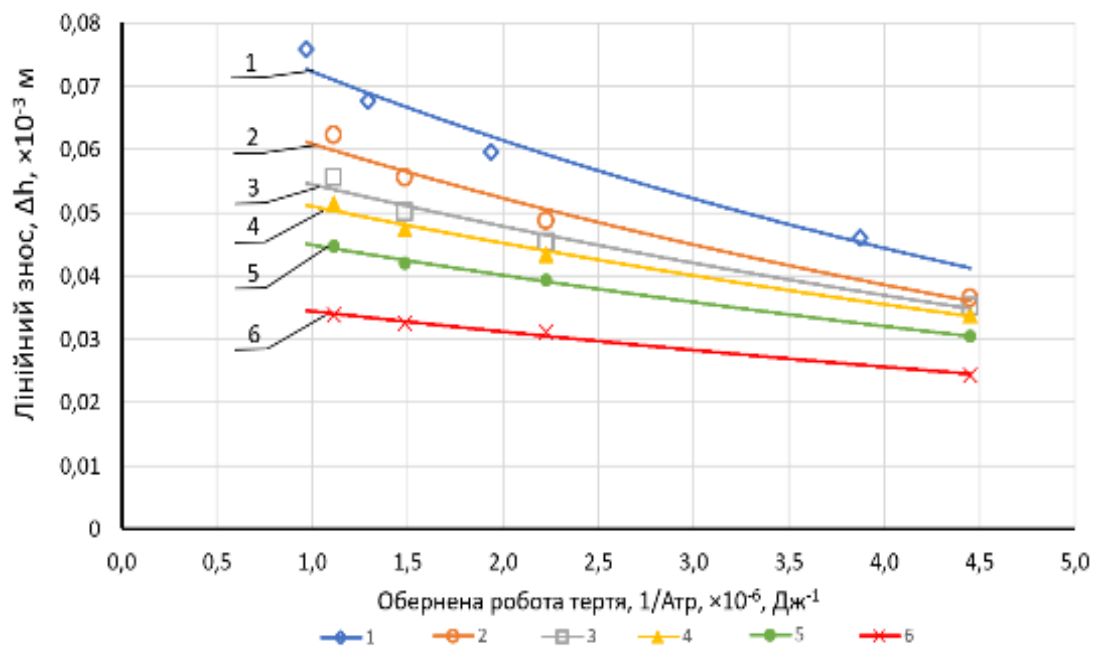


Рисунок 2.9 – Залежність лінійного зносу від оберненої роботи тертя, де 1-6 згідно табл. 2.3.

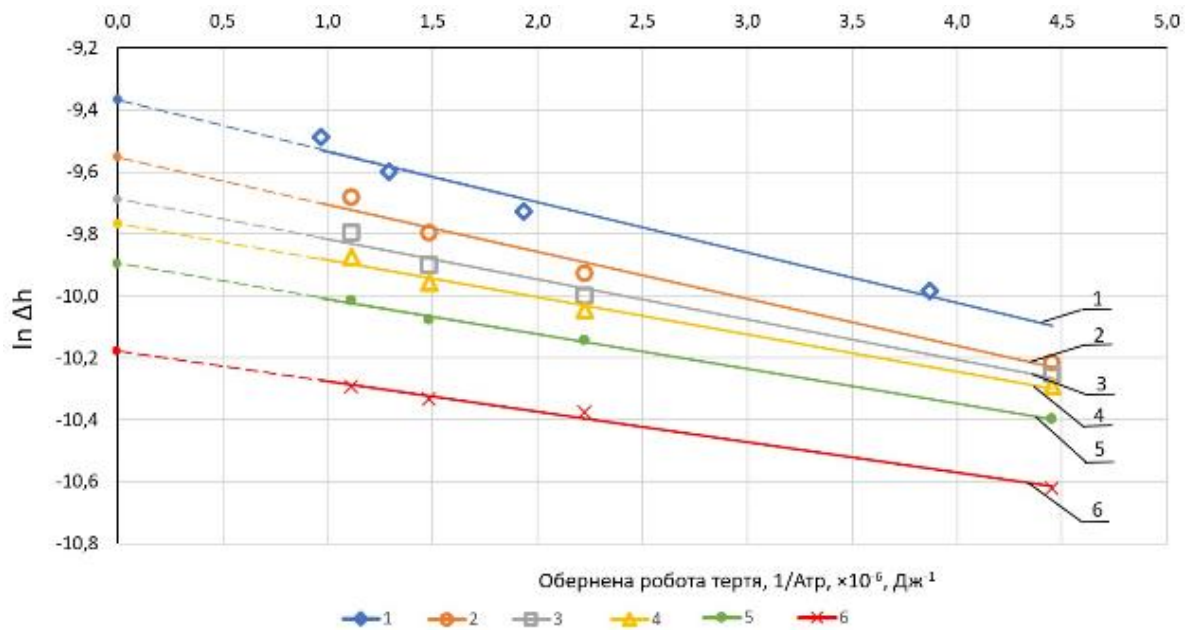


Рис. 2.10 – Залежність логарифму лінійного зносу від оберненої роботи тертя, де 1-6 згідно табл. 2.3.

Як і у випадку вагового зносу енергія активації визначається тангенсом куту нахилу графіку залежності $\ln \Delta h = f(A_{\text{тр}}^{-1})$ для кожного розглянутого методу.

Як показують розрахунки значення енергії активації повністю співпадають з визначеними раніше для вагового зносу і які наведено в табл. 2.2.

Алгоритм знаходження констант рівнянь вагового та лінійного зносу, відповідно (2.3) і (2.7) полягає у наступному:

Експериментально вимірюється ваговий $\Delta m_{\text{б.п.}}$ та лінійний $\Delta h_{\text{б.п}}$ знос бабітового покриття в залежності від зворотної роботи тертя.

Будуються графіки залежності логарифма зношеної ваги і лінійного зносу. По відрізку, що відсікається на осі ординат прямою, екстрапольованою до значення абсциси $A_{\text{тр}}^{-1} = 0$, знаходиться логарифм максимального вагового та лінійного зносу з яких і визначаються константи рівнянь зносу - максимальний ваговий та лінійний знос.

Константа рівняння зносу бабітових покриттів - енергія активації E_A визначається з рівняння

$$E_A = \text{tg} \alpha,$$

де α дорівнює куту нахилу прямих в залежностях логарифма зношеної ваги і лінійного зносу до осі ординат.

Величину роботи яку треба виконати, щоб отримати ваговий ($\Delta m_{б.п.х}$) або лінійний знос ($\Delta h_{б.п.х}$), можна визначити за допомогою рівнянь (2.10) та (2.11).

2.4. Висновки

1. Обґрунтована система відбору необхідної технології при виготовленні та ремонті деталей насосних агрегатів, яка враховує економічні та екологічні вимоги на усіх стадіях життєвого циклу виробу.

2. В результаті експериментальних досліджень одержано математичну модель зношування бабітових покриттів (рівняння зносу), яка оцінює ваговий та лінійний знос певної кількості бабіту в залежності від виконаної роботи тертя, а також вирішує зворотну задачу – дозволяє знайти роботу тертя за відомим ваговим або лінійним зносом.

3. Розроблений алгоритм для визначення констант рівняння зносу бабітових покриттів підшипників ковзання - максимального вагового і лінійного зносу і енергії активації процесу зношування.

4. Залежно від виду поверхні деталі та вимог до неї може бути кілька шляхів, у тому числі комбінованих, для досягнення потрібних параметрів її якості. Щоб одержати можливість керувати якістю поверхневого шару, необхідно в подальшій роботі виконати ряд експериментальних досліджень як у використовуваних способів, так і їх комбінацій.

5. Роботи [130-132] опубліковані за участю автора.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПЛИВУ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

3.1 Методика впливу на поверхневі шари сталейних деталей НА технологій ЕІЛ

Серед методів, присвячених зміцненню та відновленню поверхонь деталей машин, працюючих в важких умовах і які підлягають абразивному та іншим методам зношування, технологія ЕІЛ займає свою технологічну нішу поміж найбільш перспективних методів обробки поверхневих шарів концентрованими потоками енергії (розділ 1). Використання технологій ЕІЛ, як окремо, так і в комбінаціях з іншими методами, що покращують якість поверхонь деталей, дозволяють сформувати поверхневі шари з особливими властивостями, які важко отримати іншими технологіями.

При виконанні дослідних робіт в яких обробка поверхневих шарів зразків та деталей, виготовлених переважно з сталейних матеріалів, були задіяні електроіскрові установки, які дозволяють проводити процеси легування в діапазоні енергії розряду $W_p = 0,05 - 6,8$ Дж. При цьому кожному режиму ЕІЛ відповідають як енергія розряду (W_p), так і продуктивність процесу легування (T) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Залежність продуктивності ЕІЛ від W_p

W_p , Дж	0,130	0,550	0,90	2,60	3,40	4,90	6,80
Продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$	1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	2,7	3,0

До установок, що використовували в дослідях, слід віднести установку моделі «Елітрон – 52А». При використанні цієї установки для обробки зовнішніх

та внутрішніх поверхонь зразків процес ЕІЛ удосконалили шляхом механізації процесу, коли деталь розташовували в патроні верстату, а в супорті закріплювали вібратор установки ЕІЛ (рис. 3.1).



а



б



в

Рисунок 3.1 – Вигляд установки ЕІЛ (а); та обробки внутрішніх (б) і зовнішніх елементів поверхневих шарів виробів (в) [48].

Основні енергетичні параметри приладу ЕІЛ моделі «Елітрон -52А» представлені в табл. 3.2. При механізованій обробці продуктивність процесу змінювалась за допомогою механізмів верстату.

Для ЕІЛ зовнішніх поверхонь деталей при дослідях використовували установку моделі «ЕІЛ-9» з дисковим пристроєм для закріплення електродів (рис. 3.2, табл. 3.3).



Рисунок 3.2 – Зображення установки ЕІЛ моделі «ЕІЛ-9» [48].

Таблиця 3.2 – Основні енергетичні параметри установки електроіскрового легування моделі «Елітрон -52А»

Марка генератора	№ режиму	Ємність конденсаторної батареї, С, Дж	Напруження, U, В	W _p , Дж
Транзисторно-тиристорний (ТТ)	1	120	35	0,05
	2		75	0,20
	3		100	0,36
	4	300	35	0,11
	5		75	0,60
	6		100	0,90
	7	1560	35	0,60
	8		75	2,6
	9		100	4,60
RC	10	480	80	0,90
	11		95	1,30
	12		110	1,70
Поєднання ТТ + RC	13	120 + 480	80 + 100	1,3
	14	300 + 480	95 + 100	2,2
	15	1 560 + 480	110 + 100	6,8

Таблиця 3.3 – Енергетичні параметри установки моделі «ЕІЛ-9»

Номер режиму	Ємність накопичувальних батарей С, мкФ	Напруження, U, В	W _p , Дж
1	1 200	58	1,41
2	2 400	58	2,83
3	1 200	90	3,4
4	2 400	90	6,8

Для обробки методом ЕІЛ плоских та криволінійних поверхонь зразків та деталей використовували установки моделі «Елітрон-22А і «ЕІЛ – 8А» (рис. 3.3). Режими останньої приведені в табл. 3.4.



Рисунок 3.3 – Установка моделі «ЕІЛ-8А» (а) для проведення ЕІЛ плоских (б) і криволінійних (в) поверхонь деталей.

Таблиця 3.4 - Основні енергетичні параметри установки електроіскрового легування моделі «ЕІЛ -8А»

№ режиму	$U_{х.х}, В$	$I_p, А$		$W_p, Дж$	
		$C, мкФ$		$C, мкФ$	
		150	300	150	300
I	16,0	0,4	1,4	0,010	0,020
II	23,0	0,5	1,6	0,020	0,050
III	30,0	0,6	2,0	0,040	0,080
IV	37,0	0,7	2,0	0,060	0,120
V	47,0	0,8	2,2	0,100	0,200
VI	57,0	0,9	2,4	0,150	0,300
VII	67,0	1,0	2,7	0,200	0,400
VIII	77,0	1,2	2,6-2,8	0,270	0,550
IX	87,0	1,3	2,6-3,5	0,340	0,680

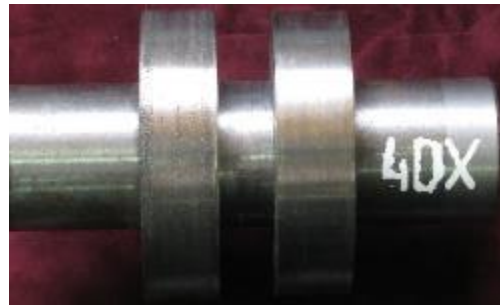
Для досліджень валів відцентрових насосів виготовляли спеціальні круглі зразки, виготовлені зі сталей: 20; 40; 40Х і 12Х18Н10Т у вигляді циліндра діаметром 50 і завдовжки 100 мм (рис.3.4, а) та котушки (3.4, б).

Зниження шорсткості поверхонь круглих зразків та деталей після ЕІЛ графітовим електродом-інструментом ($\mathcal{C}_{\text{ЕІЛ}}$) і металевим електродом проводили на гвинторізальному верстаті методом БУФО із застосуванням

магнітострикційного перетворювача ПМС-39 та ультразвукового генератора УЗГ-030 (рис.3.4, а, табл. 3.5).



а



б

Рисунок 3.4 – Вигляд обробки БУФО зразків після ЦЕІЛ (а) та ЕІЛ (б) [48].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика УЗГ- 030

Параметри	Значення
Напруга від мережі змінного струму з номінальною напругою, В	$220 \pm 10 \%$
Споживана потужність, Вт	300
Форма вихідного сигналу	Прямокутна
Потужність вихідна, Вт	500
Частота робоча, кГц	18,6
Амплітуда коливань УЗ хвилеводу, мкм	10
Габаритні розміри, мм	400×450×280
Маса, кг	25,4

Поверхні дисків і циліндра перед обробкою шліфували до $R_a = 0,5$ мкм.

Для зменшення дії фреттинг-процесів та фреттинг-корозії (Ф-К) після ЕІЛ на поверхню циліндричних зразків окремими ділянками методом ЕІЛ наносили срібло, мідь і нікель (рис. 3.5), а потім проводили БУФО.

Дослідження параметрів якості покриттів, проводили за відомими металографічними та дюрOMETричними методиками. Для цього використовували зразки $15,0 \times 15,0 \times 6,0$ мм (рис. 3.6, а) та сегменти, які вирізали з круглих зразків (рис. 3.6, б), а потім з зразків робили шліфи (рис. 3.6, в).



а

б

в

Рисунок 3.5 – Зразок зі сталі 40X після ЕІЛ а-сріблом, б-міддю та в-нікелем.



а

б

в

Рисунок 3.6 – Зразки і шліфи для дослідження параметрів якості поверхневих шарів деталей.

Структуру і суцільність покриттів їх хімічний склад досліджували растровому електронному мікроскопі РЕММ-102, електронному мікроскопі Jeol JSM-5400, що сканує (рис. 3.7)



Рисунок 3.7 – Вигляд електронного мікроскопа SEO-SEM Inspect S50-B.

Одночасно з металографічними дослідженнями проводили дюрOMETричний аналіз шляхом вимірювання мікротвердості на мікротвердомірі ПМТ-3 як на поверхні зразка після часткового шліфування поверхневого шару.

Шорсткість поверхні покриттів вимірювали на всіх етапах проведення досліджень. Для цього використовували профілограф-профілометр заводу «Калібр» (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Зображення профілографа-профілометра.

Рентгенографічні дослідження проводили в $\text{CuK}\alpha$ та $\text{CoK}\alpha$ випромінюванні (рис. 3.9).



а



б

Рисунок 3.9 – Зображення дифрактометрів для рентгенографічних досліджень: а – AXRD Benchtop; б – ДРОН-3.

Для дослідження елементного складу покриття проводився якісний і кількісний локальний аналіз. Для цього використовувалися мікроскопи: растровий мікроскоп РЕММ-102, оснащений приставкою з рентгенівським мікроаналізатором. В якості об'єктів для електронної мікроскопії використовувалися зразки, підготовлені за технологією для металографічних досліджень.

3.2. Методика підвищення зносостійкості шийок валів під ПК

Перед технологами як України, так і держав ближнього і дальнього зарубіжжя, постійно стоїть задача збільшення зносостійкості поверхневих шарів однієї з найважливіших пар тертя роторних машин «бабітовий вкладиш - шийка ПК», вирішення якої напряму пов'язано з підвищенням їх довговічності.

3.2.1. Методика зміцнення шийок валів ПК методом цементації ЕІЛ (патент України № 142822)

В розділі 1 приводиться декілька методів підвищення зносостійкості шийок ПК з яких найбільш перспективним може бути метод цементації ЕІЛ, тобто легування графітовим електродом.

Нами запропоновано поставлену задачу вирішувати у новий спосіб, коли процес ЦЕІЛ виконують поетапно в 3 етапи:

1-й етап - ЦЕІЛ виконують по режимах, які забезпечують вимоги креслення до поверхні деталі;

2-й етап – на отриману на першому етапі поверхню ретельно втирають суспензію, яка виготовлена з 80 % порошку графіту, який ретельно перемішаний з 20 % вазеліну;

3-й етап – на отриманій на другому етапі поверхні проводять ЦЕІЛ причому при тій же енергії розряду $W_p=0,9 - 4,6$ Дж і з тією ж продуктивністю $1,0-2,0 \text{ см}^2 / \text{хв.}$, що і на попередньому (1-му) етапі.

Рекомендована продуктивність процесу ЦЕІЛ, в залежності від енергії розряду легування, представлена в табл. 3.1.

ЦЕІЛ виконували на установці ЕІЛ «Елітрон-52» на прямокутних зразках, виготовлених зі сталі 20, 40Х та 30Х13, розміром $15 \times 15 \times 8$ мм з поверхнею, відшліфованою до $Ra = 0,5$ мкм. Зразки обробляли при енергіях розряду: 0,9; 2,6 і 4,6 Дж.

Для порівняння параметрів якості сформованих поверхневих шарів обробляли дві серії зразків:

1-ша серія -ЦЕІЛ проводили по традиційній технології Під час проведення дослідів при одній і тій же енергії розряду і з однаковою продуктивністю;

2-га серія - зразки обробляли поетапно, згідно із новим способом.

Як для першої, так і для другої серії в якості електроду-інструменту використовували графіт марки ЕГ-4 (ОСТ 229-83).

Із оброблених двома способами методом ЦЕІЛ зразків виготовляли шліфи для металографічних та дюрOMETричних досліджень, які проводили по методиках і технологіях описаних вище.

3.2.2. Методика формування на шийках ПК валів дисульфід молібденових покриттів (патент України №144932)

На зразки зі сталі 20; 40; 40Х і 30Х13 розміром $15 \times 15 \times 8$ мм наносили сірчану мазь в якій зміст сірки складав 33 % і проводили ЕІЛ молібденовим електродом-інструментом $\varnothing 4$ мм і $l = 45$ мм. В якості обладнання використовували установку «Елітрон-52А». Легування проводили при $W_p = 0,9$; 2,6 та 4,6 Дж. Продуктивність обирали згідно табл. 3.1

Металографічні і дюрOMETричні дослідження, визначення шорсткості поверхні і суцільності покриття, проводили по методикам і на обладнанні описаному вище.

3.3. Методика формування зносостійких посадкових поверхонь валів (патент України №148495)

Для дослідження впливу енергетичних параметрів на якість формованих покриттів, використовували сталі зразки (сталі 20 і 40) (ГОСТу 1050-88) величиною 15,0×15,0×8,0 мм, які покривали речовиною, яка складається з вазеліну як сполучного компонента, алюмінієвої пудри (ПАД-0) у кількості 56 % по масі, порошку аморфного бору в кількості близько 5 % по масі.

Далі по нанесеній консистентній речовині, проводили Ц_{ЕЛ} поверхневих шарів графітовим– електродом–інструментом марки ЭГР-7 при $W_p = 0,13; 0,55$ та 4,9 Дж. Продуктивність обирали згідно табл. 3.1

Металографічні і дюрOMETричні дослідження, визначення шорсткості поверхні і суцільності покриття, проводили по методикам і на обладнанні описаному вище.

Для зниження дії Ф-П і Ф-К на покриття складу Al-C-V наносили окремі ділянки цим же методом мідь, срібло і нікель (рис. 3.5).

3.4. Особливості методики дослідження зносостійкості поверхневих шарів сталних зразків

3.4.1. Методика проведення випробувань бабітових покриттів вкладишів ПК

Зносостійкість бабітових покриттів з різними покриттями і без покриттів визначалася за схемою «диск – колодка» (рис. 3.10).

Перед випробуваннями колодку з бабітовим покриттям розточували до поверхня колодки не співпадала з зовнішньою поверхнею диску. Диск розмірами Ø50×Ø14×10 мм виготовляли зі сталі 40Х.

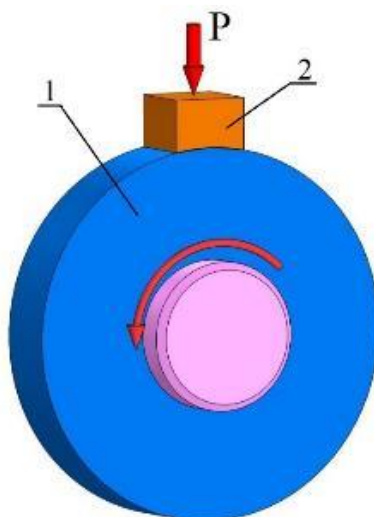


Рисунок 3.10 – Схема проведення порівняльних іспитів на знос поверхонь пари тертя бабітова колодка-шийка ПК: 1-диск; 2-колодка.

Далі диски надівали на вал машини тертя «СМЦ-2», прироблювали приблизно до 1 години доки доля приробленої поверхні не складала 90-95% від вихідної. При прироблюванні питоме навантаження складало 2,0МПа. Коли прироблення було завершено зразки обмірювали для подальших досліджень - зважували і наносили поглиблення для отримання результатів по ваговому і лінійному зносу.

Після кожних 2-х годин знімали свідчення вагового та лінійного зносу. При проведенні іспитів швидкість ковзання, v складала 0,78 м/с; питомий тиск 5,0 МПа; навантаження, $P = 1000$ Н; час випробувань 8,0 год. При цьому контактуючи поверхні диску та бабітового покриття проходили шлях тертя 22,5 км.

Перед кожним іспитом на диск капали одну каплю турбінного мастила Т-22. Крім того, в процесі іспитів вимірювали момент тертя, контролювали швидкість ковзання та навантаження у зоні тертя.

3.4.2. Проведення порівняльних іспитів шийок валів ПК

Для оцінки якості покриттів після нового способу цементації методом ЕІЛ і нанесення сульфомолібденового покриття з подальшим використанням їх для зміцнення шийок валів відцентрових насосів виготовляли зразки у вигляді дисків $\varnothing 50 \times 10$ мм зі сталі 40Х і нержавіючої сталі 30Х13, твердість яких після термічної обробки складала, відповідно 185-195 і 230-265 НВ. Зовнішня поверхня дисків, з нанесеним покриттям контактувала з бабітовим покриттям вкладишу ПК за схемою, згідно рис. 3.10.

Як для сталі 40Х, так і сталі 30Х13 було виготовлено по три серії зразків:

1 серія – без покриття;

2 серія – ЦЕІЛ за новим способом;

3 серія – нанесення сульфомолібденового покриття.

В кожній серії було по три зразка.

Зразки з покриттями піддавали БУФО, встановлювали на машину тертя і піддавали зношуванню в парі з бабітовим покриттям (рис. 3.10).

Характеристика режимів і методика випробувань детально приведена в підрозділі 3.4.1.

3.4.3. Проведення порівняльних іспитів покриття посадкових шийок валів

Для підвищення зносостійкості посадкових шийок валів проводили порівняльні дослідження на знос круглих зразків з розмірами, матеріалу і термообробки описаними в попередньому підрозділі 3.4.2.

Зовнішні поверхні дисків, як з покриттями так і без них, контактували з прямокутним зразком з твердого сплаву ВК8.

Для дослідів виготовляли дві серії зразків по три зразка в кожній серії:

1 – без покриття;

2 – з покриттям складу (алюміній + вуглець + бор) і БУФО.

Режими випробувань на машині тертя і методика іспитів описані вище в підрозділі 3.4.1.

3.5. Методика реновації шийок валів роторів відцентрових насосів

3.5.1. Методика реновації шийок ПК

Нами для удосконалення методу відновлення підшипникових шийок валів ВН було запропоновано метод ЦЕІЛ поєднати з одночасним введенням в зону, що піддають електроіскровому легуванню додатково газу азоту, який попадає в джерело легування за допомогою спеціального приладу, який закріплюють на тримачеві електроду вібратора (рис. 3.12). Таким чином, в вогнище легування одночасно подають азот і вуглець, що по своїй суті є процесом нітроцементації методом ЕІЛ (НЦЕІЛ) [133].

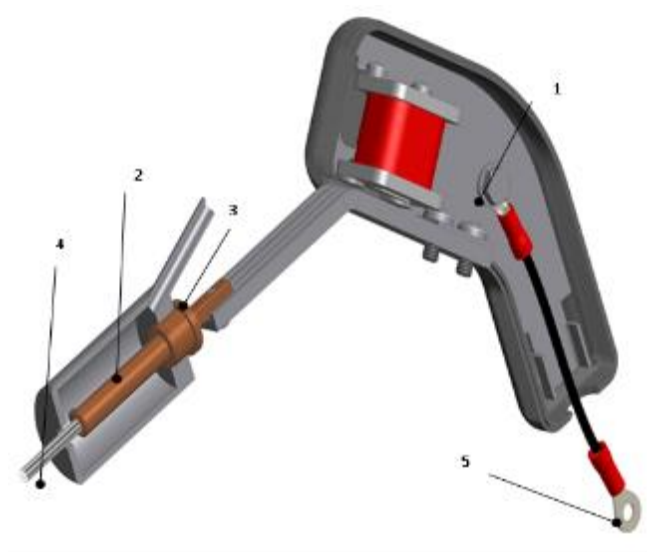


Рисунок 3.12 [133] – Конструкція вібратора для виконання процесу НЦЕІЛ

1 - ручка, 2 - трубка для подачі азоту, 3 - штуцер,
4 – електрод-інструмент, 5 – дріт під'єднання до обладнання ЕІЛ.

Технологія як ЦЕІЛ, так і НЦЕІЛ відбувається на приладі ЕІЛ з ручним вібратором, який закріплюють в супорті токарного верстату, зразки для легування в його патроні. Процес ЦЕІЛ проводять у три етапи, відповідно при

$W_p = 0,55$ і $0,13$ Дж з продуктивністю, відповідно $1,3$ і $0,1$ $\text{см}^2/\text{хв}$. Процес обробки зразків за новим способом НЦЕІЛ також виконують у два етапи: перший етап – вуглецевим електродом-інструментом при $W_p = 0,55$ Дж і другий – ретельно втирають в нанесений на першому етапі шар покриття розчин у вигляді гелю, який складається з вазеліну і порошку вуглецю; третій – вуглецевим електродом-інструментом при $W_p = 0,55$ Дж.

3.5.2. Методика реновації посадкових шийок валів відцентрових насосів (патент України № 141920)

Для відновлення зношених поверхонь посадкових шийок валів відцентрових насосів може бути корисним розроблений нами новий спосіб, який може бути застосований для ремонту валів з корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т, яку використовують в важких умовах, що піддаються постійному корозійному впливу.

Для нанесення КЕП механізованим способом на установці «ЕІЛ-9» як матеріал підкладки використовували циліндричні зразки з сталі 09Х18Н10Т, або 12Х18Н10Т (рис. 3.1, в), з шорсткістю поверхні $R_a = 0,5$ мкм.

Зразки обробляли на гвинторізному верстаті методом ЦЕІЛ на установці «Елітрон-52А», шляхом трьох проходів супортом з подачею $S = 0,03$ мм/об і $W_p = 3,4$ Дж та подачі $S = 0,03$ мм/об (рис. 3.1, в). Як електрод-інструмент застосовували графітові стрижні марки МПГ-7 $\varnothing 4$ мм і довжиною 30 мм.

Потім цементовану поверхню обробляли на установці «ЕІЛ-9» шляхом трьох проходів супортом, на якому був закріплений дисковий пристрій з алюмінієвими електродами, з подачею $S = 0,05$ мм/об і $W_p = 3,4$ Дж та подачі $S = 0,03$ мм/об (рис. 3.12, а).

На сформоване покриття з алюмінію, використовуючи оснастку для закріплення електродів Т15К6 (рис. 3.12, б), наносили покриття поетапно з метою досягнення його більшої суцільності (рис. 3.12, в):

перший етап - два проходи з $W_p = 0,9$ Дж при $S = 0,03$ мм/об;

другий етап - два проходи з $W_p = 3,4$ Дж при $S = 0,07$ мм/об.

Первинне ЕІЛ при $W_p = 0,9$ Дж забезпечує суцільність покриття, що оцінюється візуально $\sim 90\%$, а при $W_p = 3,4$ Дж $\sim 70\%$.

Для збільшення суцільності поверхню сформованого покриття (рис. 3.13, а) обробляли ППД методом обкатки кулькою (ОК) на токарному верстаті пружинно-штоковим пристосуванням з кульковою головкою 19 мм (рис. 3.13, б). Зусилля обкатки складало 1500Н. Подача $S = 0,05 \dots 0,21$ мм/об, швидкість $V = 30$ м/хв. Змазування здійснювали індустріальним маслом. В результаті суцільність покриття складала 95-100% (рис. 3.13, в).



а



б



в

Рисунок 3.12 – Нанесення КЕП на зразки циліндричні зі сталі 12Х18Н10Т [138].



а



б



в

Рисунок 3.13 – Збільшення суцільності покриття ОК [138].

На сформоване твердосплавне покриття наносили металополімерний матеріал з порошком, який армував, з твердого сплаву ВК6 і якого кількість складала приблизно 60 % (вага.%) (рис. 3.14, а).

Після полімеризації шар металополімерного матеріалу проточували до виступів шорсткості поверхні сплаву Т15К6 (рис. 3.14, б)



а



б

Рисунок 3.14 – Формування на зразках МПМ: а – поверхня зразка з МПМ, армованим твердим сплавом ВК6; б – проточена поверхня зразка [138].

Далі дослідження показників якості сформованих поверхонь проводили по методикам і на обладнанні описаному вище.

3.6. Методика реновації бабітових ПК

Для роторних машин з багаторазовими пусками та зупинками актуальне є забезпечення не тільки підвищеної надійності ПК, але й їх ремонту, а краще реновації. Крім цього, при виготовленні і при ремонті не менш важливою та актуальною проблемою є проблема підвищення показників якості антифрикційних поверхневих шарів, робочих характеристик та ресурсу роботи бабітових ПК.

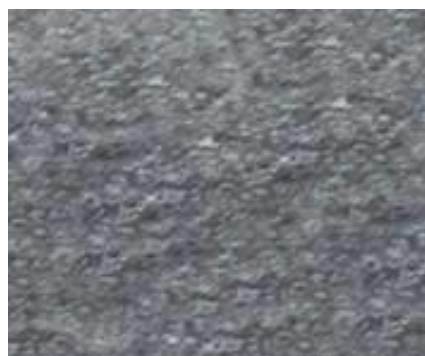
При виготовленні вкладишів ПК найбільш широко використовують бабіти, як на олов'яній, так і на свинцевій основі.

Для досліджень збільшення ваги катоду (ΔP_k), а також товщини бабітового шару (Δh) і величини його шорсткості (R_z) використовували зразки зі сталі 20, розміром 10x10x6 мм (рис. 3.6, а). Матеріал сталі 20 відповідає ГОСТу 1050-88. Поверхні зразків перед ЕІЛ шліфували до $R_a = 0,50$ мкм.

Першим шаром на зразки наносилась мідь. Щоб отримати покриття з високими параметрами якості поверхневих шарів покриття міддю наносили поетапно, відповідно з $W_p = 0,27$ і $0,05$ Дж. В результаті такої технології нанесення покриття товщина міді знизилась з $0,080$ мкм (перший етап) до $0,050$ мкм (другий етап). Суцільність нанесеного покриття з міді складала 100% (рис. 3.15, а).



а



б

Рисунок 3.15 – Зображення поверхні плоского зразка зі сталі 20 в результаті формування поверхневого шару методом ЕІЛ з міді (а) і бабіту при $W_p = 0,05$ та $0,31$ Дж (б).

Слід відмітити, що коли на менших режимах ЕІЛ наносять другий шар з міді, то електричний розряд протікає між електродом-інструментом з міді і виступами поверхні з уже нанесеного на першому етапі мідним покриттям. При цьому виступи поверхні нанесеного на першому етапі шару міді частково деформуються, частково розплавляються і розтікаються і заповнюють всі пори і западини нанесеного першого шару. Таким чином шорсткість поверхні зменшується, а суцільність збільшується.

Сформоване покриття з міді ретельно обробляють металевою щіткою. В результаті знімається окислювальний шар, припали і інші дефекти покриття, що призводить до покращення якості поверхневого шару.

Після цього на сформоване покриття з міді наносять бабіт марки Б 88.

Процес нанесення бабітового покриття також відбувається поетапно. Спочатку, для того щоб отримати 100% суцільність і низьку шорсткість бабітового шару, використовують невеликий режим, коли $W_p = 0,05$ Дж. Після цього режим поступово збільшують з $W_p = 0,31$ до $0,53$; потім до $0,9$; до $2,6$; до $4,6$ і нарешті до $6,8$ Дж. При цьому параметри якості поверхні бабітового шару також поступово знижуються. Шорсткість становиться більшою, а суцільність меншою.

Процес нанесення бабітового шару супроводжується перенесенням на леговану поверхню окремих капель бабіту. При цьому з збільшенням режиму ЕІЛ збільшується розмір капель. (рис. 3.15, б).

Після цього, щоб значно знизити шорсткість покриття і збільшити його суцільність проводять поетапне легування електродом-інструментом з вуглецю, відповідно, при $W_p = 0,39$ і $0,13$ Дж. Дуже важливо після кожної обробки електродом-інструментом з вуглецю поверхню, що легують обробляти металевою щіткою.

Обробка електродом-інструментом з вуглецю призводить до того, що електричний розряд протікає між його торцем і найбільшими виступами шорсткості поверхні. В результаті останні розплавляються і бабіт розтікається по поверхні. При цьому шорсткість нанесеного покриття значно зменшується, а суцільність збільшується.

Після цього треба знову обробити поверхню металевою щіткою і ретельно перевірити за допомогою лупи, або візуально якість покриття. При виявленні пропусків, або інших дефектів в нанесеному шарі бабіту треба виправити дефектні місця.

3.7. Методика модернізації НА

3.7.1. Модернізація приводу

Для покращення роботи електродвигунів насосних агрегатів, проводили аналіз зупинок асинхронних двигунів, причиною зупинки яких є які пошкодження підшипників, або обмоток електродвигунів. На підставі проведених досліджень, потрібно було знайти таку модель ущільнення, яка змогла би надати найбільшу герметичність кульковому підшипнику.

При проведенні дослідів зібрали та обробили статистичні данні про відмову понад 4-х тисяч асинхронних електродвигунів. При цьому враховували різні відомості про відносну вологість і температуру повітря, з якого року працює і т. інше.

До прийнятих при дослідженнях припущень слід віднести:

- АД аналогічні за виконаною конструкцією;
- АД, які працюють в однакових умовах;
- АД, які розрізняються часом праці;
- всі АД, що вийшли з ладу.

В результаті проведеного аналізу, згідно електродвигунів, які не проробили свій покладений термін, були відміченими в якості «слабого місця» АД: кульковий підшипник - руйнування досягають становлять 73,0%, обмотка корпусу – 24,0 %, ротору – 3,0 % від усієї кількості. Другі зупинення в розрахунках не були задіяні.

3.7.2. Методика модернізації муфт

З метою вдосконалення технологічного методу підвищення стійкості поверхонь гнучких елементів пружної муфти (ПМ) проти фреттинг-корозії шляхом застосування металоплакуючих графітовмісних мастильних матеріалів та визначення їх раціонального складу проводились наступні дослідження.

Вплив кількості порошку MoS₂ на інтенсивність зношування виконувалось в наступній послідовності. В розплавлений парафін вводили порошок міді,

дисульфиду молібдену і графіту (С), кожного у кількості від 5 до 25 вагових відсотків з наступним охолодженням до кімнатної температури.

Отриманим матеріалом натирали поверхні по всіх сполучних поверхнях мембран пружних муфт МСК-470, розрізаних навпіл. При цьому відбувалося як би зашпаклювання мікронерівностей поверхні зі збільшенням площі контакту.

Для проведення порівняльних досліджень використовували наступні варіанти підвищення довговічності:

- 1-й пакет - без зміцнення;
- 2-й пакет - 25 % Cu + 25 % дисульфід молібдену + 50 % парафін;
- 3-й пакет - 5 % Cu + 5 % дисульфід молібдену + 5 % графіт + 85 % парафін;
- 4-й пакет - 5 % Cu + 5 % дисульфід молібдену + 25 % графіт + 55 % парафін;
- 5-й пакет - 5 % Cu + 5 % дисульфід молібдену + 50 % графіт + 40 % парафін;
- 6-й пакет - 25 % Cu + 25 % дисульфід молібдену + 5 % графіт + 45 % парафін;
- 7-й пакет - 25 % Cu + 25 % дисульфід молібдену + 25 % графіт + 25 % парафін;
- 8-й пакет - 20 % Cu + 20 % дисульфід молібдену + 50 % графіт + 10 % пар;
- 9-й пакет - 30 % Cu + 30 % дисульфід молібдену + 30 % графіт + 10 % парафін.

Зібраний пакет з ГЕ муфти покритими за різними варіантами, встановлювали на спеціальний стенд, який імітував роботу ПМ при амплітуді 5 мм (рис. 3.16). Кількість циклів для кожної серії складала 2×10^7 .

Після іспитів пакет розбирали, поверхні гнучких елементів ретельно промивали і висушували. Величину зносу визначали по зміні величини шорсткості по відношенню до початкової.

Крім обробки мембран ПМ парафіном з добавками порошків; міді, дисульфиду молібдену та графіту з метою захисту кріпильних деталей від Ф-К був запропонований спосіб епіламування. Обробку кріпильних деталей (болтів,

шайб, гайок, втулок) проводили в середовищі епіламуючого розчину «Полизам» шляхом кип'ятіння протягом 45 хв.

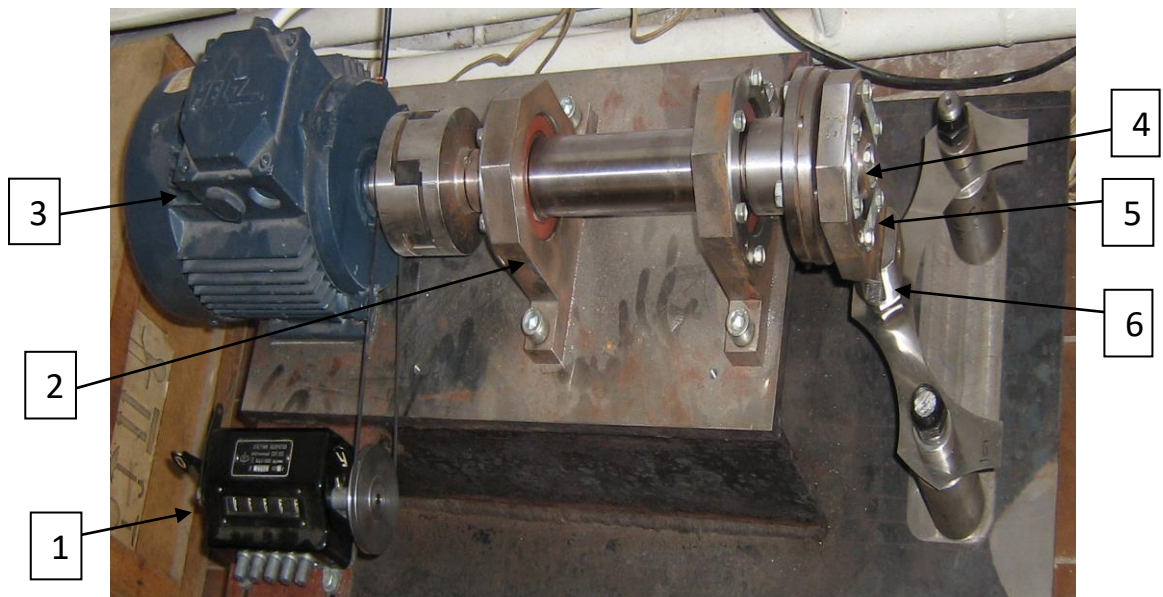


Рисунок 3.16 –Зображення стенду [28]:

1 - лічильник кількості циклів; 2 – підшипники; 3 – електродвигун;
4 – ексцентрик; 5 – пакет ГЕ; 6 – зажим болтами.

Деталі після епіламування встановлювали на стенд (рис. 3.16), шляхом закріплення мембран муфти МСК-470, розрізаних навпіл і випробували на базі 10^7 циклів. Методика визначення величини зносу по зміні шорсткості представлена вище.

3.8. Висновки

1. Запропонована технологія захисту підшипникових шийок валів відцентрових насосів від зношування, яка використовується за рахунок цементації методом електроіскрового легування (ЦЕІЛ) за допомогою компактного електроду-інструменту з графіту і порошку вуглецю, який ретельно втирається після використання першого етапу цементації і надає позитивний

вплив при використанні способу ЦЕІЛ другим етапом (*патент 142822 України на корисну модель*).

2. Запропонований новий екологічно безпечний спосіб підвищення зносостійкості поверхонь деталей пари тертя «шийка валу ПК – бабітовий вкладиш», який включає в себе процес формування на сталій поверхні валу методом електроіскрового легування сульфомолібденового покриття, яке містить в своєму складі 5 % дисульфиду молібдену, має товщину зміцненого шару до 70 мкм і суцільність покриття до 95 %, а також мікротвердість, що досягає 10731 МПа. Таке покриття дуже корисне в період запуску двигуна і початку процесу ковзання підшипникової шийки валу по бабітовій поверхні вкладишу (тертя без мастильного матеріалу) і яке маючи в своєму складі дисульфід молібдену, який виконує роль твердого змазування і таки чином, позитивно впливає на зносостійкість контактуючих деталей (патент України на корисну модель № 144932).

3. Для підвищення якості з'єднань з натягом у спряженні «поверхня валу - напресована деталь» запропонований новий спосіб, який полягає в насиченні методом ЕІЛ поверхні сталюого валу відцентрового насосу алюмінієм, бором і вуглецем, в результаті чого до 12350 МПа підвищується мікротвердість поверхневого шару, збільшується міцність і зносостійкість, знижується дія фреттинг-корозії (патент України на корисну модель № 148495).

4. В результаті проведення порівняльних випробувань за схемами «диск-колодка» для шийок валів насосів, що працюють у парі з бабітовими підшипниками і «диск-плоский зразок» для з'єднань з натягом у спряженні «поверхня валу - напресована деталь визначені більш раціональні технології впливу на якість поверхневих шарів деталей це, відповідно ЕІЛ (Mo+S)→БУФО і ЕІЛ (Al-C-B) → БУФО.

5. Запропонований новий спосіб ремонту підшипникових шийок валів відцентрових насосів, який полягає в тому, що після перешліфовки шийки одночасно проводять цементацію її поверхневого шару методом ЕІЛ і подачу в

зону легування азоту, що є процесом нітроцементації (патент 142822 України на корисну модель).

6. Для відновлення зношених поверхонь посадкових шийок сталених валів запропоновано новий екологічно безпечний спосіб, який дозволяє формувати на зазначених поверхнях відновлені поверхневі шари необхідної товщини і високої якості. Покриття наносять в послідовності: ЦЕІЛ → АЕІЛ → ЕІЛ Т15К6 → ОК → МПМ, армований порошком твердого сплаву ВК6 (патент України на корисну модель № 141920).

7. Запропонована технологія реновації зношених поверхонь бабітових покриттів підшипників ковзання відцентрових насосів методом ЕІЛ.

8. Запропоновано вирішення проблеми герметичності підшипникових вузлів приводів насосних агрегатів, що працюють в агропромисловому комплексі, за рахунок їх модернізації, яка здійснюється шляхом впровадження магніторідинних герметизаторів.

9. Аналіз роботи муфт різної конструкції показав, що пружні муфти з гнучкими елементами мають значну перевагу по відношенні до традиційних зубчастих і втулично - пальцевих муфт, що використовуються в НА, задіяних в процесах зрошення. Усунення в дійсній роботі такого основного недоліка пружних муфт, як схильність поверхонь гнучких елементів та деталей кріплення до фреттинг-корозії (**патенти України на корисну модель №144932 і 142811**) дозволяє пропонувати їх для модернізації НА.

10. За матеріалами розділу опубліковані такі праці: [111, 126, 127, 130-132, 134-143].

РОЗДІЛ 4

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВАЛІВ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

4.1. Удосконалення способу зміцнення шийок валів під підшипники ковзання (*патент України на корисну модель № 142822*)

Як було відмічене в розділі 1 у валів роторів відцентрових насосів і інших роторних машин основними елементами поверхонь, що в процесі роботи зношуються і таким чином позначають ліміт терміну служби всього насосу є шийки під підшипники ковзання які ще називають шипом, або жолобником, а також шийки валу на які з натягом насаджують інші деталі: робочі колеса, шків, втулки та інші, такі поверхні називають посадочними шийками валу.

Для того щоб ті або інші шийки валів мали зносостійку поверхню їх обробляють різними методами. Це, як правило обробка методом ХТО – азотування, цементация або нітроцементация, а в останні роки ці процеси відбуваються за допомогою метода ЕІЛ.

Коли в якості електроду-інструменту використовують графіт (вуглець), то в поверхневому шарі деталі що оброблюють виникає процес такий як і при цементации методом ХТО. Значна різниця тільки в тому, що процес ЦЕІЛ може протікати в локальних місцях, що є дуже корисним.

Нами для зміцнення підшипникових шийок валів запропонований новий спосіб, методика використання якого досить детально описана в розділі 3.

Новий спосіб відрізняється від традиційного в першу чергу тим, що легування при використанні метода ЕІЛ відбувається як компактним електродом, так і порошком графіту, який знаходиться в змішаному стані з вазеліном і у вигляді суспензії проникає в пори між окремими виступами шорсткості і, таким чином, покращує процес цементации. В даному випадку формується зміцнений шар параметри якості якого (глибина шару підвищеної

твердості, величина шорсткості, мікротвердість і суцільність) кращі ніж при традиційній цементації методом ЕІЛ.

Нижче представлені результати проведених досліджень, коли порівнювали результати параметрів якості двох видів цементації:

- 1 – ЦЕІЛ проводили за традиційною технологією;
- 2 - ЦЕІЛ проводили за новим способом.

На рис. 4.1 зображені мікроструктури (**а, б, в**) і розподіл мікротвердості (**г**), які були отримані при різних енергіях розряду. Параметри якості поверхні зразків сталі 20 після ЦЕІЛ за традиційною і новою технологією представлені в табл. 4.1.

В результаті аналізу мікрофотографій зразків сталі 20 після ЦЕІЛ встановлено, що структури поверхневого шару традиційно складаються з трьох ділянок:

- зверху знаходиться «білий шар», який, як правило, не протравлюється звичайними реактивами;
- дифузійна (перехідна) зона;
- основний метал.

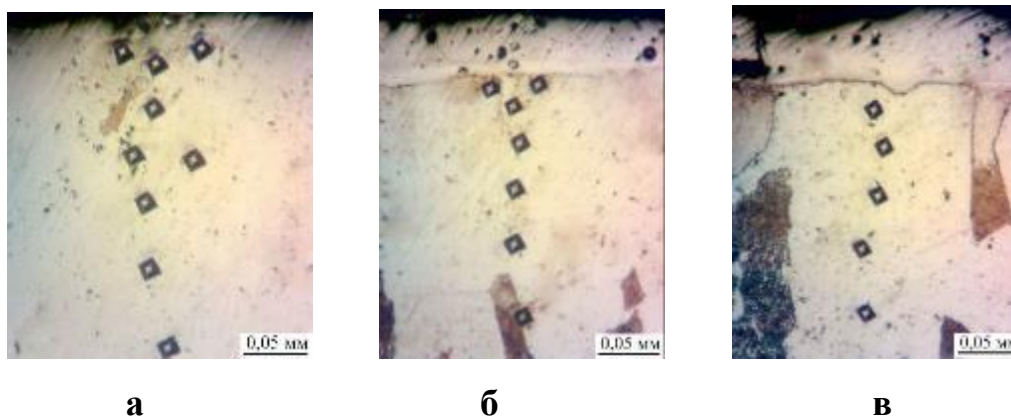
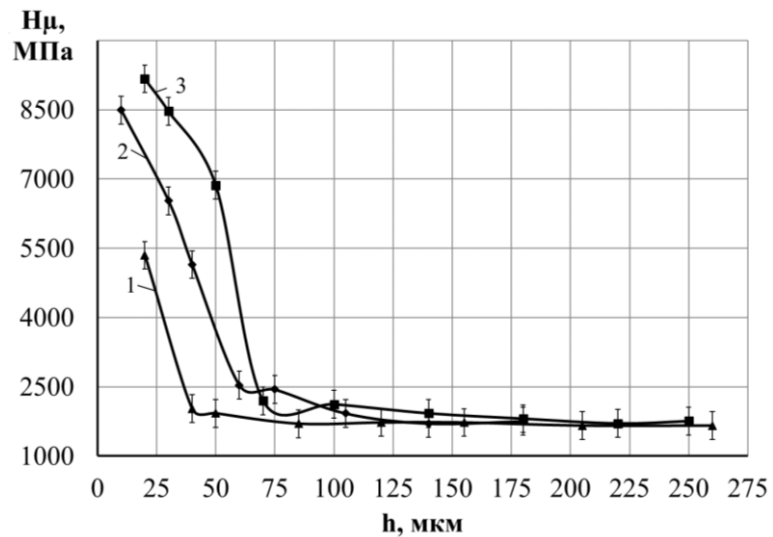


Рисунок 4.1 – Мікроструктури (**а, б, в**) сталі 20 при традиційній ЦЕІЛ.



Г

Продовження рисунка 4.1 – Розподіл мікротвердості поверхневого шару зразків сталі 20 після традиційної ЦЕІЛ. 1 – $W_p = 0,9$; 2 – 2,6; 3 – 4,6 Дж, відповідно [139].

Параметри якості поверхневих шарів зразків зведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри якості поверхні зразків сталі 20 після ЦЕІЛ за традиційною і новою технологією

W_p , Дж	«Білий» шар, мкм		Покриття	
	Товщина, мкм	Мікротвердість, МПа	Суцільність S, %	Шорсткість R_a , мкм
Існуюча технологія				
0,9	30	5350	60	0,9
2,6	60	9170	80	6,7
4,6	60	8500	80	9,0
Нова технологія				
0,9	80	9932	100	0,8
2,6	100	10800		3,7
4,6	230	10800		4,8

На рис. 4.2 зображені мікроструктури (а, б, в) і розподіл мікротвердості за товщиною шару (г), які були отримані при енергіях розряду, відповідно, 0,9; 2,6 і 4,6 Дж. Параметри якості поверхневого шару зведені до табл.4.1.

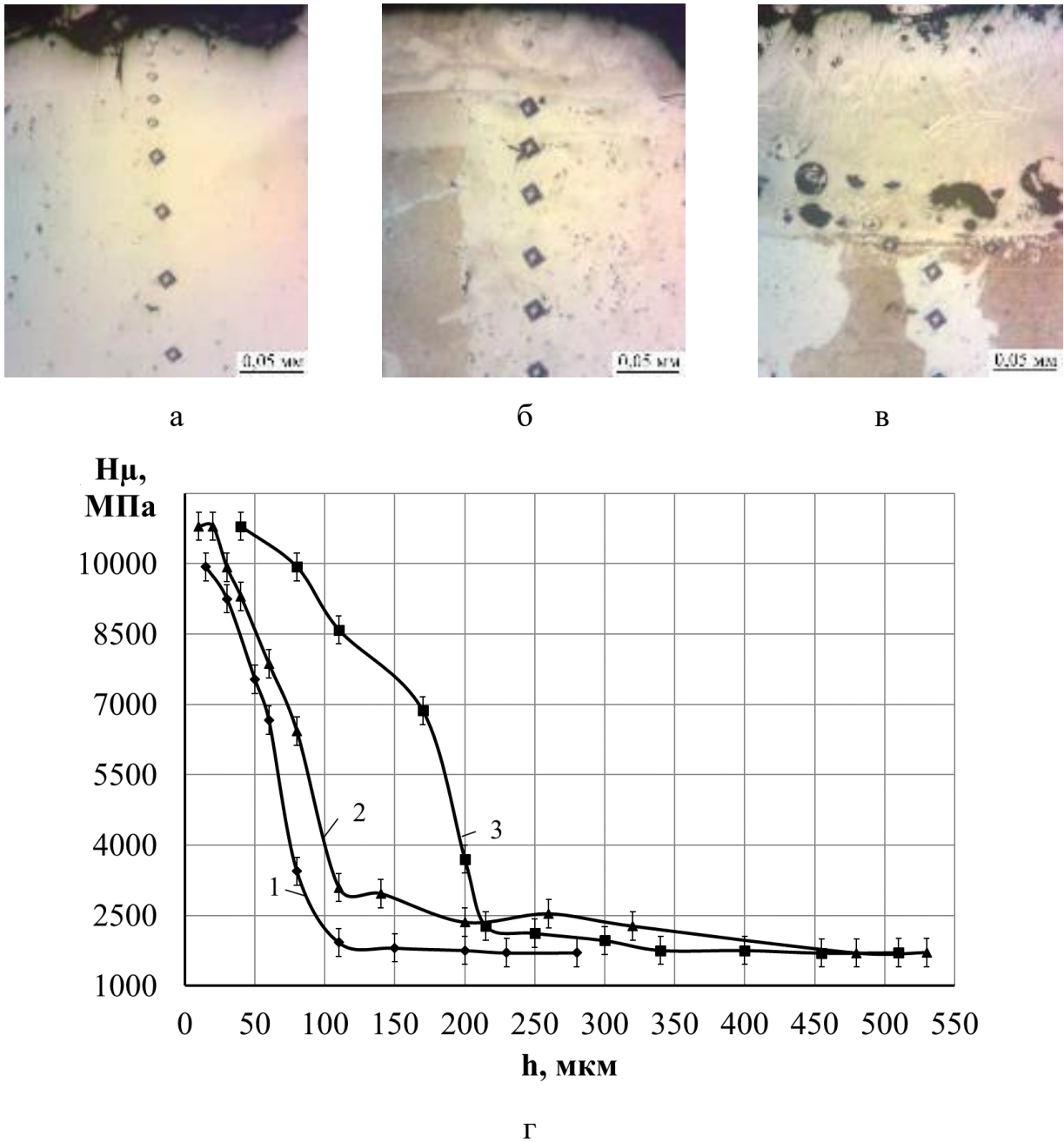


Рисунок 4.2 – Зображення мікроструктури (а. б, в) та залежність величини мікротвердості поверхні зразка зі сталі 20 за новою технологією ЦЕІЛ при 1 – $W_p = 0,9$; 2 – 2,6; 3 – 4,6 Дж, відповідно [139].

Аналіз табл. 4.1 і рис. 4.2 показує іншу картину формування параметрів якості поверхневого шару в пропонуваному способі. За новою технологією процес ЕІЛ протікає іншим чином (електричний розряд відбувається між торцем компактного електроду інструмента з графіту і графітовим порошком, який в свою чергу, знаходиться в западіннях шорсткості і контактує з поверхнею зразка до якої, при традиційній технології, нема доступу компактним електродом, який може контактувати тільки з виступами шорсткості.

Таким чином, площа, поверхні зразка що підлягає ЦЕІЛ значно збільшується і час цементації поверхні також стає більшим чим за традиційною. При цьому зростає не тільки площа зміцненого шару до 100%, а також глибина дифузії вуглецю, що в свою чергу збільшує товщину «білого шару», глибину зміцненого шару і мікротвердість, наприклад, коли $W_p = 0,9$ Дж товщина «білого шару» зростає з 30 до 80 мкм, зона підвищеної твердості збільшується з 15-30 до 50-70 мкм, а мікротвердість при цьому зростає з 5347 до 9932 МПа.

Крім цього зменшується величина шорсткості поверхневого шару, так при $W_p = 2,6$ Дж за традиційною технологією шорсткість поверхні $R_a = 5,1-6,7$ мкм, а за новою 2,8-3,7 мкм.

На рис. 4.3. показано межу розподілу збільшеної кількості вуглецю в поверхневому шарі сталі 20 при традиційному (а) і запропонованому способах (б) цементації методом електроіскрового легування.

Аналіз рис. 4.3 показує, що при використанні запропонованого способу ЦЕІЛ глибина дифузії вуглецю досягає 80 мкм, в порівнянні з глибиною дифузії при традиційному способі – 35 мкм.

В табл. 4.2 зведені основні параметри, що відображають якість поверхневих шарів сталі 40Х і 30Х13 після ЦЕІЛ за традиційною і новою технологіями. Аналіз таблиці 4.2 показав, що при заміні матеріалу підкладки сталі 20 на сталь 40Х і сталь 30Х13, показники якості поверхневого шару суттєво не змінюються. Однак, в зв'язку з більшим змістом вуглецю в сталях 40Х і 30Х13, незначно збільшується мікротвердість поверхневого шару.

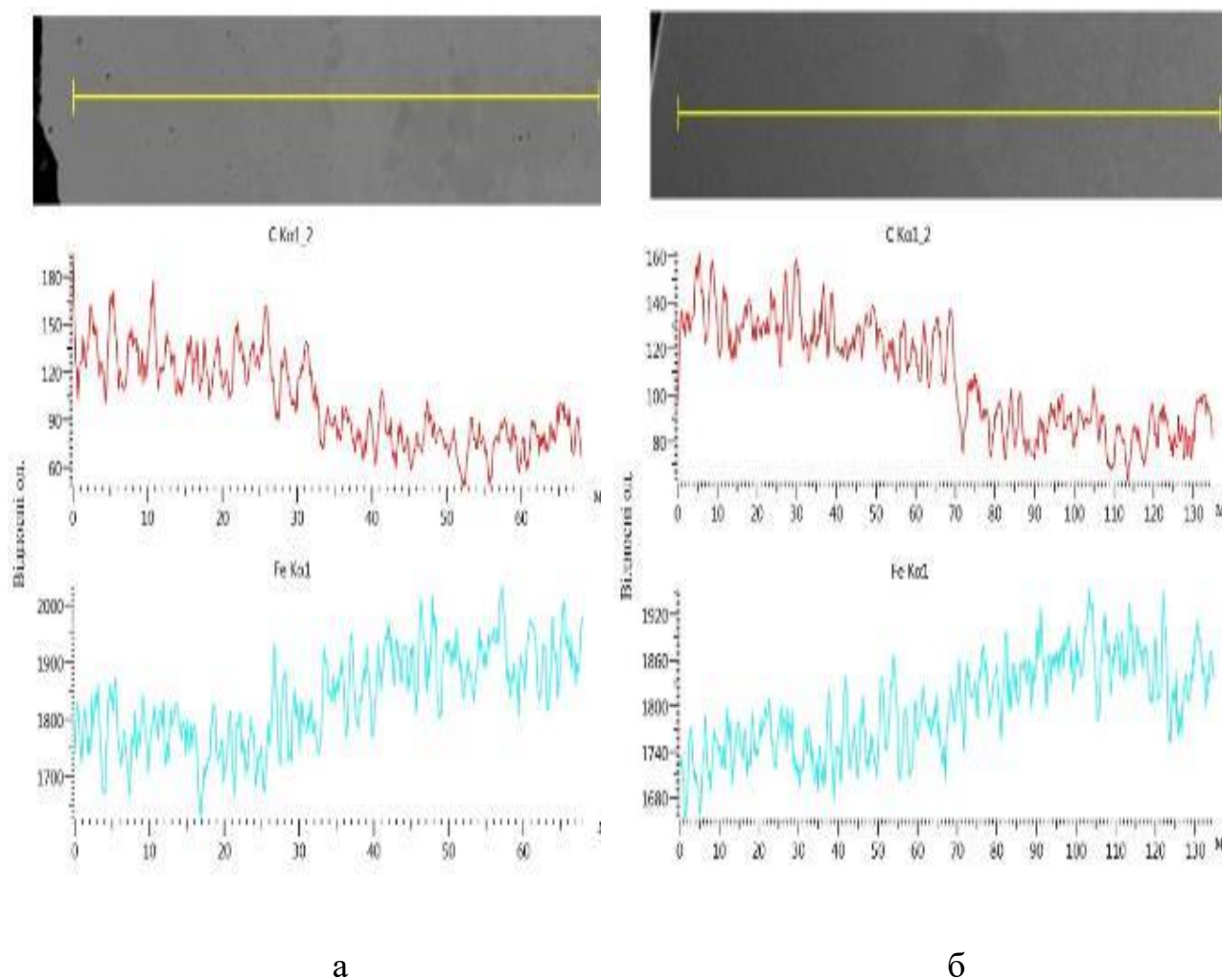


Рисунок 4.3 – Глибина дифузії вуглецю при традиційній (а) і новій технології ЦЕІЛ (б) при $W_p = 0,9$ Дж.

В результаті проведених досліджень, направлених на підвищення параметрів якості поверхневих шарів деталей після цементації, проведеної методом ЕІЛ, отримані наступні результати:

- удосконалений спосіб ЦЕІЛ поверхневих шарів сталей, що дає можливість застосувати його для зміцнення підшипникових шийок валів відцентрових насосів в зрошувальному землеробстві;
- в новому способі ЦЕІЛ сталей значно покращились параметри поверхневих шарів: збільшились товщина «білого шару», глибина зміцненого шару і суцільність поверхні, також підвищилась мікротвердість поверхні і знизилась її шорсткість;

Таблиця 4.2 – Параметри якості поверхневих шарів сталі 40X і 30X13 після ЦЕІЛ

Енергія розряду, Вт, Дж	Товщина «білого» шару, мкм	Мікротвердість «білого» шару, МПа	Суцільність «білого» шару, %	Шорсткість поверхні, Ra, мкм
Традиційна технологія ЦЕІЛ				
Сталь 40Х				
0,9	25-40	5576-4243	50-60	0,9-1,1
2,6	40-70	8675-6538	70-80	5,4-6,3
4,6	55-80	8468-6976	70-80	8,5-9,2
Нова технологія ЦЕІЛ				
0,9	60-80	11351-7303	100	0,9-1,0
2,6	90-110	11787-6962		2,6-3,8
4,6	130-240	11823-7659		3,5-4,7
Традиційна технологія ЦЕІЛ				
Сталь 30Х13				
0,9	25-40	5730-4563	50-70	0,9-1,1
2,6	35-70	8978-6897	70-80	5,3-6,7
4,6	60-80	8673-7925	80-90	8,2-9,7
Нова технологія ЦЕІЛ				
0,9	70-90	9940-7546	100	0,9-1,1
2,6	100-120	10767-6887		2,7-3,5
4,6	150-240	10991-7989		3,-4,5

- при заміні матеріалу підкладки на сталь 40X і 30X13, характер структуроутворення покриттів не змінюється, але в зв'язку з більшим змістом вуглецю в сталях 40X і 30X13, мікротвердість «білого» шару і його товщина в цих сталях збільшується.

4.2. Новий спосіб формування на поверхнях шийок валів підшипників ковзання дисульфід молібденових покриттів (*патент України на корисну модель № 144932*)

Пропонований нами спосіб належить до екологічно безпечних способів формування покриття методом ЕІЛ. Для підвищення зносостійкості поверхонь деталей машин використовують масла і мастила з додаванням антифрикційних присадок. Одним з таких антифрикційних матеріалів, що використовують як присадки, є дисульфід молібдену (MoS_2). Гексагональні кристали MoS_2 мають шарувату структуру. Твердість дисульфиду молібдену за шкалою Мооса становить 1,0-1,5. Він має високу хімічну стабільність і стійкість до дії більшості кислот і радіоактивного випромінювання.

Метод ЕІЛ розширює можливості отримання покриттів, які покращують трибологічні властивості поверхневих шарів деталей в парах тертя.

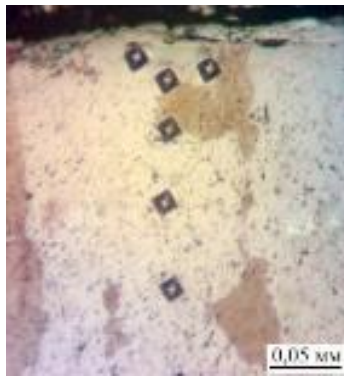
В основі пропонованого способу лежить проблема підвищення зносостійкості поверхонь деталей в період початку роботи насосу, коли між поверхнею підшипникової шийки валу і бабітовим покриттям вкладишу підшипника відсутнє мастило і відбувається так зване сухе тертя.

Значно знизити коефіцієнт тертя між контактуючими поверхнями можливо шляхом формування на поверхні одній з них покриття, яке включає дисульфід молібдену. Наявність дисульфиду молібдену отримана нами при ЕІЛ сталюого зразка, поверхня якого покрита сіркою у вигляді мазі, молібденовим електродом-інструментом при енергіях розряду $W_p = 0,13 - 3,4$ Дж і продуктивності, відповідно в межах $0,8 - 2,5 \text{ см}^2 / \text{хв}$. Як електрод-інструмент застосовують стрижень з молібдену діаметром 4 мм і довжиною 45 мм. Методика виконання способу детально описана в розділі 3.

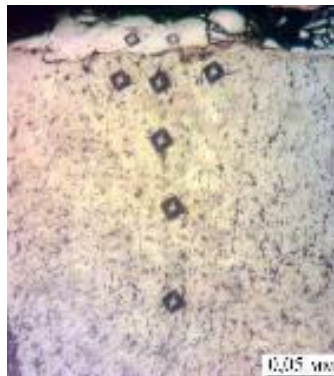
При використанні запропонованого нового способу нанесення сульфомолібденового покриття на зразки зі сталі 20 і сталі 40 мікротвердість складає, відповідно 5147 і 10731 МПа, товщина зміцненого шару 20 і 70 мкм, а суцільність, в залежності від енергії розряду, знаходиться в межах 65-95 %.

Новий спосіб є екологічно безпечним і пояснюється прикладом конкретного здійснення.

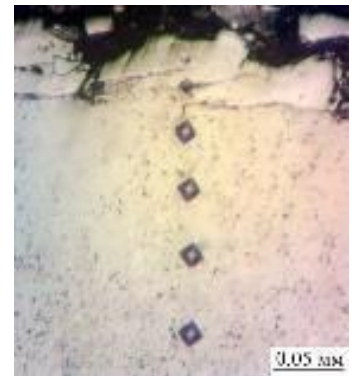
На рисунках 4.4 і 4.5 представлені результати нанесення покриття методом ЕІЛ в послідовності S→Мо, відповідно, на сталь 20 і сталь 40 при $W_p = 0,13$; 0,55 і 3,4 Дж.



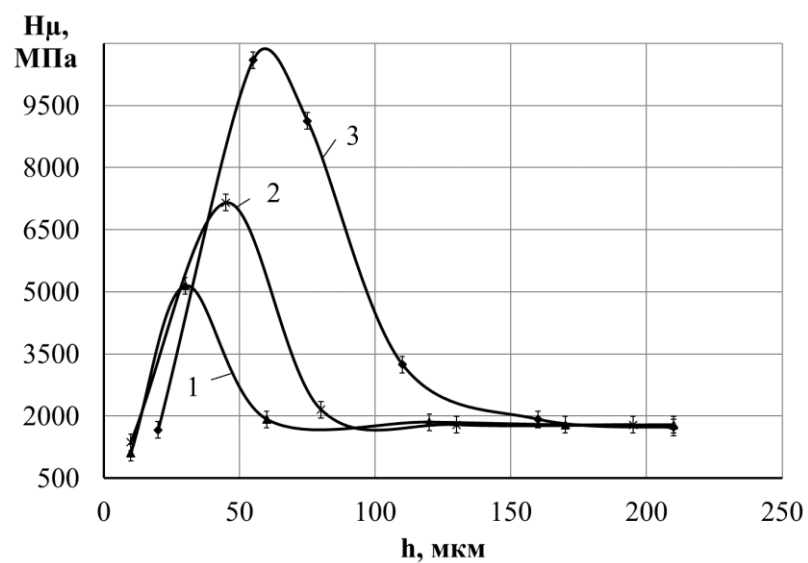
а – $W_p = 0,13$ Дж



б – $W_p = 0,55$ Дж

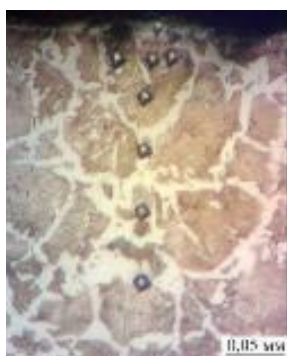
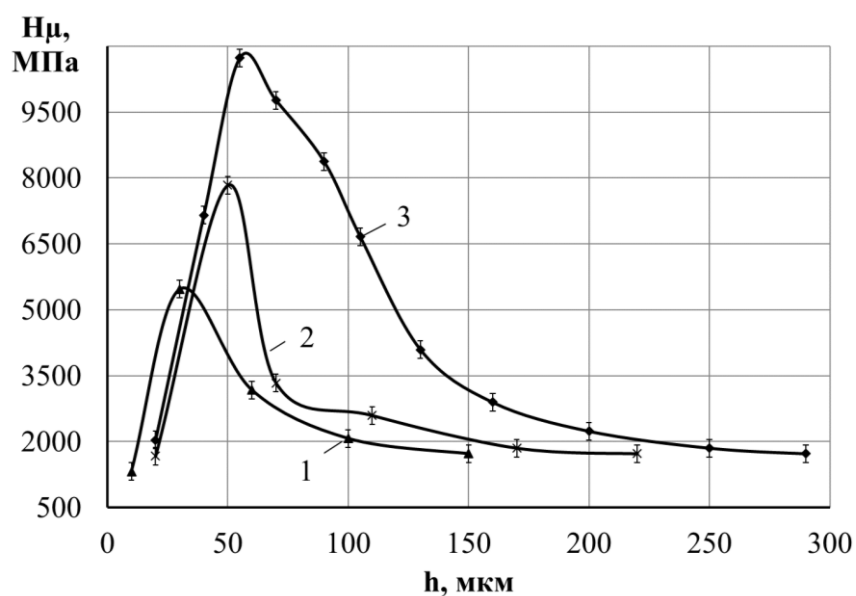


в – $W_p = 3,4$ Дж



г

Рисунок 4.4 – Мікроструктури (**а, б, в**) і розподіл мікротвердості (**г**) у поверхневому шарі сталі 20 після ЕІЛ в послідовності S→Мо. На графіку 1 – $W_p = 0,13$ Дж, 2 – $W_p = 0,55$ Дж, 3 – $W_p = 3,4$ Дж [141] .

а – $W_p = 0,13$ Джб – $W_p = 0,55$ Джв – $W_p = 3,4$ Дж

г

Рисунок 4.5 – Мікроструктури (а, б, в) и розподіл мікротвердості (г) у поверхневому шарі сталі 40 після нанесення покриття $S \rightarrow Mo$. На графіку 1 – $W_p = 0,13$ Дж, 2 – $W_p = 0,55$ Дж, 3 – $W_p = 3,4$ Дж [141].

Аналіз рисунків 4.4 і 4.5 і табл. 4.3 показав, що поверхневі шари сульфомолібденових покриттів, отриманих методом ЕІЛ, складаються з 4-х ділянок:

- зверху знаходиться шар зниженої мікротвердості;
- нижче знаходиться «білий» шар, мікротвердість якого змінюється від режиму легування, наприклад, від $H_\mu = 5147-5474$ МПа для $W_p = 0,13$ Дж до $H_\mu = 10596-10731$ МПа для $W_p = 3,4$ Дж;

- далі по мірі знижування знаходиться дифузійна (перехідна) зона;
- ще нижче - основа.

Зміна підкладки зі сталі 20 на 40 не привносить суттєвих змін в структуру покриття, але в сталі 40 підвищуються такі параметри якості поверхневого шару, як мікротвердість, товщина зміцненого шару, а також суцільність покриття (див. табл. 4.3).

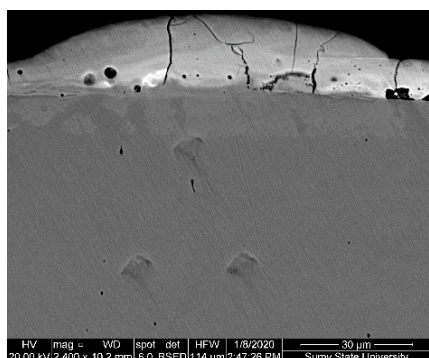
Параметри якості покриттів зведені в табл. 4.3.

На рис. 4.6 зображені результати досліджень сульфомолібденових покриттів, сформованих на поверхні сталі 40, які були отримані на електронному мікроскопі що сканує з системою мікроаналізу.

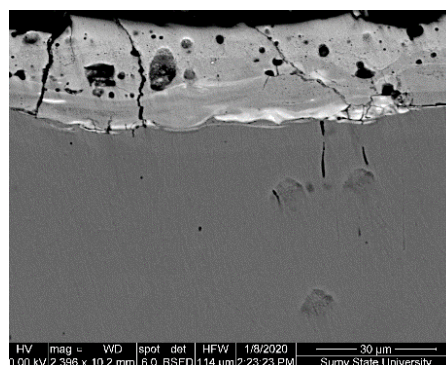
Зображення отримані за допомогою BSE-детектора зворотно-розсіяних (відображених) електронів і відрізняються за відтінком залежно від атомного номера хімічного елемента.

Таблиця 4.3 –Параметри якості сульфомолібденових покриттів

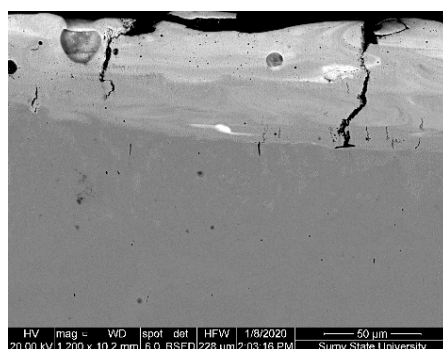
Wp, Дж	Ra, мкм	Rz, мкм	Rmax, мкм	Шар зниженої мікротвердості			Зміцнений шар		
				Hμ, МПа	h, мкм	S, %	Hμ, МПа	h, мкм	S, %
Сталь 20									
0,13	0,6	2,1	6,1	1112	20	45	5147	20	65
0,55	1,9	3,3	14,2	1368	30	65	7150	30	75
3,4	5,5	14,7	38,5	1666	40	75	10596	50	90
Сталь 40									
0,13	0,8	2,3	6,5	1320	10	50	5474	25	75
0,55	2,0	3,5	14,7	1670	20	70	7832	40	90
3,4	5,7	14,9	38,7	2040	30	80	10731	70	95



а – $W_p = 0,13$ Дж



б – $W_p = 0,55$ Дж



в – $W_p = 3,4$ Дж

Рисунок 4.6 – Результати електронно-мікроскопічних досліджень сульфомолібденових покриттів, отриманих методом ЕІЛ.

В результаті аналізу ділянок покриття і основного металу встановлено, що сульфомолібденове покриття має неоднорідний склад з різною концентрацією елементів. Світлі ділянки містять більш важкі елементи (молібден), від яких електрони пучка відображаються краще, ніж від більш легких.

Згідно з картами розподілу елементів (рис. 4.7), на поверхні концентрується сірка, молібден розподіляється більш рівномірно в покритті.

На рис. 4.8 представлені результати локального енергодисперсного рентгенівського мікроаналізу розподілу сірки, молібдену і заліза. Встановлено, що елементи сірки і молібдену досягають глибини 19; 25 і 70 мкм відповідно, при $W_p = 0,13$; 0,55 і 3,4 Дж.

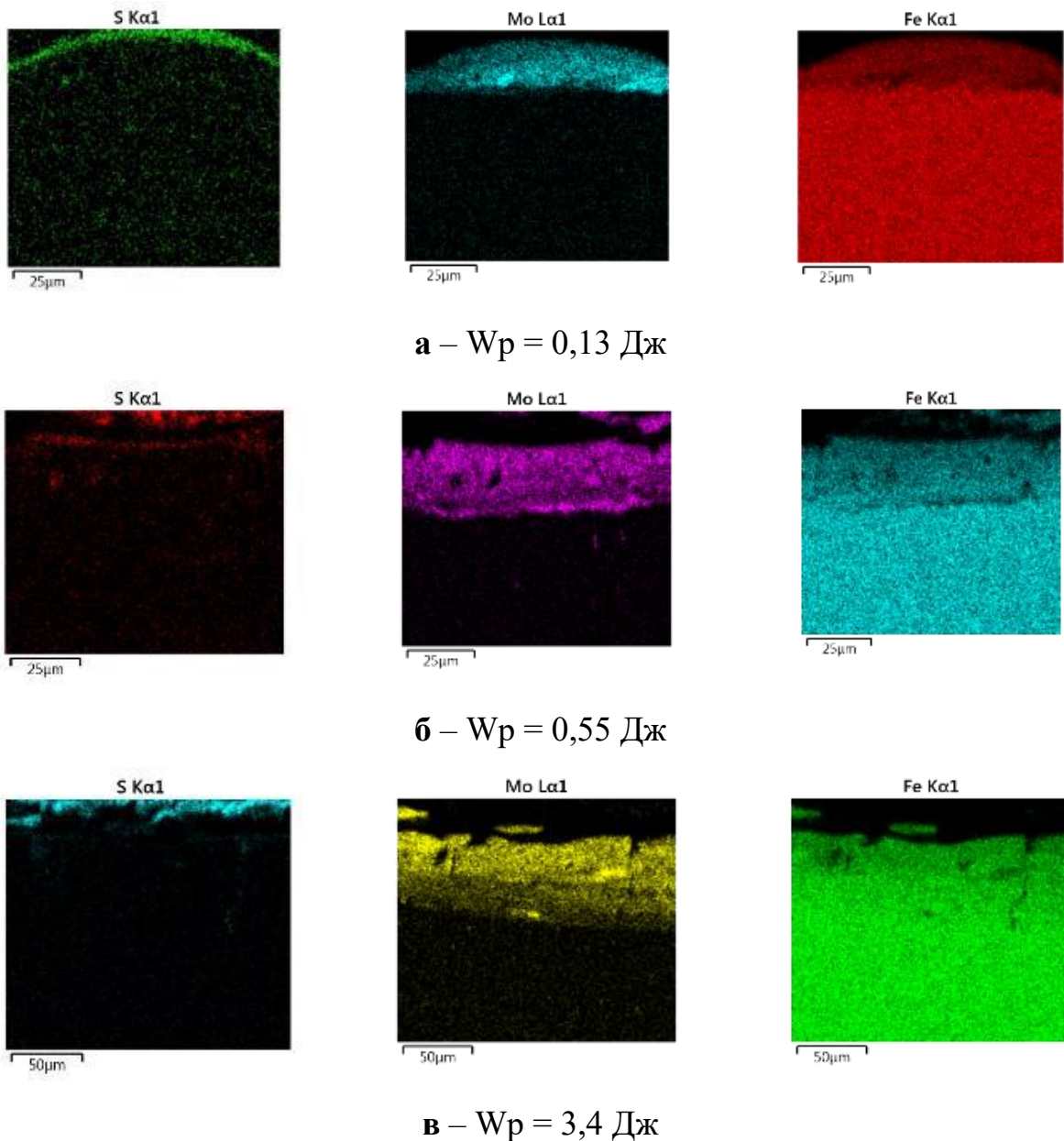
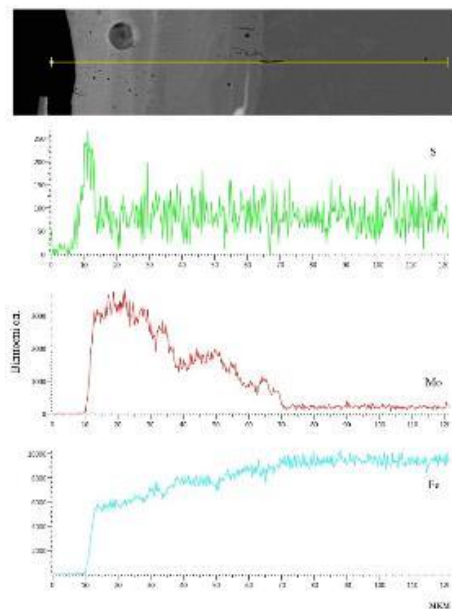
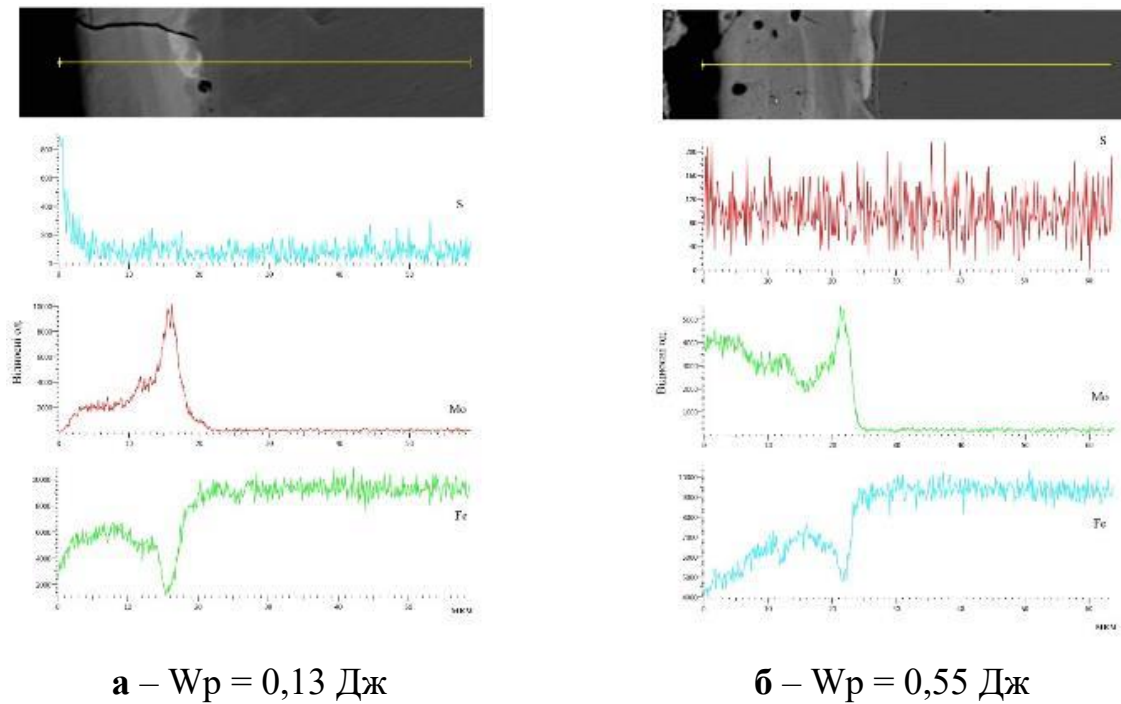


Рисунок 4.7 – Карты розподілу хімічних елементів у покриттях S+Mo на сталі 40, нанесених методом ЕІЛ [141].

Рентгеноструктурний аналіз отриманих покриттів підтверджує результати енергодисперсійного аналізу (рис. 4.9). Так, при невисоких енергіях розряду фазовий склад покриттів на сталі 40 представлений твердим розчином ОЦК, за періодом ґратки близьким до фериту, мартенсит, ГЦК твердий розчин і інтерметалід FeMo (σ -фаза). Очевидно, у зв'язку з легуванням ОЦК-твердого

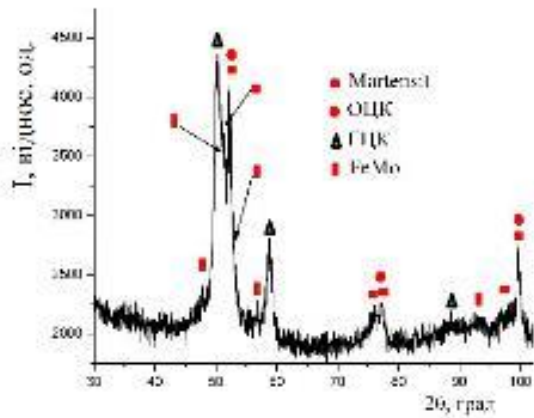
розчину (фериту) сіркою і молібденом, не рівноважними умовами охолодження збільшується параметр a (табл. 4.4).



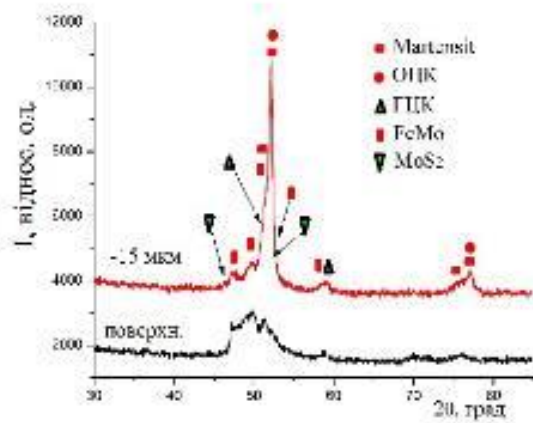
в

в – $W_p = 3,4$ Дж

Рисунок 4.8 – Розподіл елементів в покриттях S+Mo, нанесених методом ЕІЛ на сталі 40 [141].



а – $W_p = 0,55$ Дж



б – $W_p = 3,4$ Дж

Рисунок 4.9 – Дифрактограми сульфомолібденових покриттів, отриманих методом ЕІЛ, на сталі 40 [141].

Таблиця 4.4 – Кількісний фазовий аналіз і основні параметри кристалічних ґраток фаз сульфомолібденових покриттів на сталі 40

Енергія розряду, Дж	Фаза	Період ґраток, a , нм	Склад фази % (мас.)
0,55	Твердий розчин ОЦК	2,8720	23,90
	Твердий розчин ГЦК	3,6450	25,38
	Мартенсит	$a = 2,8740$ $c = 2,9200$	10,98
	FeMo (σ -фаза)	$a = 9,1280$ $c = 4,8130$	39,74
3,4	На відстані 15 мкм		
	Твердий розчин ОЦК	2,8720	46,36
	Твердий розчин ГЦК	3,6450	6,10
	Мартенсит	$a = 2,8640$ $c = 2,9200$	30,14
	FeMo (σ -фаза)	$a = 9,1280$ $c = 4,8130$	12,53
	MoS ₂	$a = 3,1212$ $c = 12,2410$	4,87

Сульфомолібденування методом ЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж сталі 40 призводить до підвищення кількості мартенситної фази до 30%, порівняно з 11% при $W_p = 0,55$ Дж, зменшення кількості залишкового аустеніту (ГЦК фази) з 25% до 6%, а також до 5% дисульфиду молібдену. Необхідно відзначити, що зі збільшенням енергії розряду збільшується шорсткість поверхні, що призводить до унеможливлення отримання достовірних результатів рентгеноструктурного аналізу. Тому дифрактограми оброблялися з поверхні після її зачищення наждачним папером на 15 мкм.

Таким чином, досліджено процес формування на поверхні сталевих деталей покриттів, що складаються з сірки, яку наносять у вигляді консистентної речовини і легування молібденовим електродом-інструментом при $W_p = 0,13$; 0,55 і 3,4 Дж. Нанесені покриття мають наступні зони: верхній рихлий шар з $H_{\mu} = 1113-2039$ МПа, «білий» зміцнений шар з $H_{\mu} = 5147-5474$ МПа для $W_p = 0,13$ Дж і $H_{\mu} = 10596-10731$ МПа при $W_p = 3,40$ Дж, перехідний шар та основа.

В разі заміни основи з криці 20 на 40 виникає збільшення параметрів поверхневого шару (мікротвердість, товщина шару підвищеної твердості та суцільність).

Електронно-мікроскопічні дослідження отриманих покриттів показали, що отриманий шар має неоднорідний склад з різною концентрацією елементів. Згідно з картами розподілу елементів за площею досліджуваних зразків, на поверхні концентрується сірка, молібден розподіляється більш рівномірно в покритті. Хімічні елементи сірка та молібден розповсюджуються глибиною до 4 і 19, 5 і 25, 15 і 70 мкм, відповідно, при енергії розряду 0,13; 0,55 і 3,4 Дж.

Рентгеноструктурний аналіз отриманих покриттів підтверджує результати енергодисперсного аналізу. При невисоких енергіях розряду фазовий склад покриттів на сталі 40 представлений твердим розчином ОЦК, за періодом гратки близьким до фериту, мартенсит, ГЦК твердий розчин та інтерметалід FeMo (σ -фаза).

4.3 Підвищення якості поверхонь посадочних шийок валів (патент України на корисну модель № 148495)

Однією з причин зупинки відцентрових насосів, задіяних в системах зрошення, можуть бути пошкодження контактуючих поверхонь деталей в нероз'ємних з'єднаннях, наприклад в з'єднанні поверхні отвору робочого колеса та посадкової поверхні валу. В силу різних процесів, основним з яких є фреттинг-процес, який з'являється при мікропереміщеннях контактуючих поверхонь, а також фреттинг-корозії, дія якої обумовлена крім фреттинг-процесу негативним впливом оточуючого середовища, може посадка з натягом змінитись на посадку ковзання і робоче колесо перестане обертатись разом з валом, тобто виникне аварійна ситуація, що призведе до зупинки насосу.

Отже, процес зміцнення поверхонь сталевих деталей, які контактують між собою в нероз'ємному з'єднанні вимагає подальшого вдосконалення.

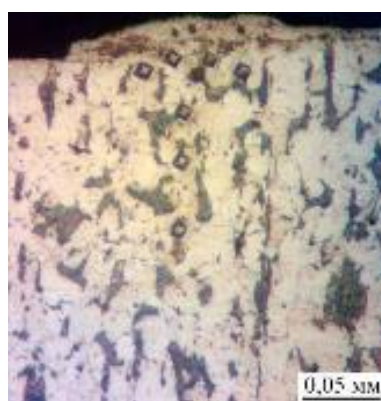
В основу пропонованого нами нового способу збільшення міцності зчеплення деталей в нероз'ємному з'єднанні поставлено задачу підвищити показники суцільності і мікротвердості покриттів контактуючих поверхонь сталевих деталей.

Для вирішення поставленої технічної задачі нами розроблено новий метод формування зносостійкого покриття, який можна використовувати для сталевих поверхонь деталей, що знаходяться в нероз'ємному з'єднанні. Технологія нанесення полягає в формуванні покриття складу $Al + B + C$, методика і режими нанесення детально описані в розділі 3.

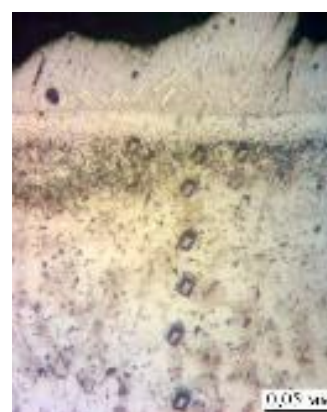
На рис. 4.10 представлені мікроструктури (а, б, в) і розподіл мікротвердості (г) по глибині поверхневого шару покриття нанесеного на сталь 40 при енергіях розряду 0,13; 0,55 і 4,9 Дж.



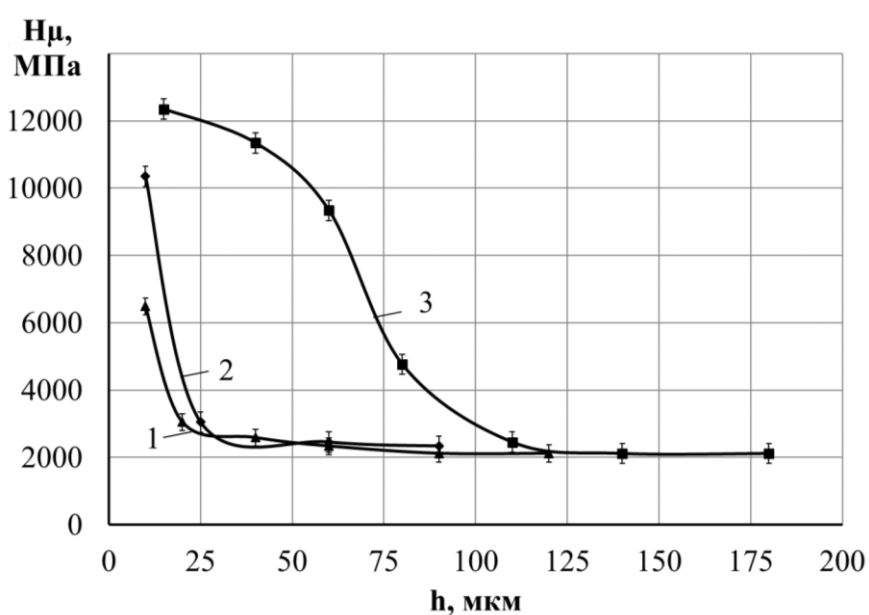
а – $W_p = 0,13$ Дж



б – $W_p = 0,55$ Дж



в – $W_p = 4,9$ Дж



г

Рисунок 4.10 – Мікроструктури (**а-в**) і розподіл мікротвердості (**г**) Al-C-V покриттів на сталі 40. На графіку 1 – $W_p = 0,13$; 2 – 0,55; 3 – 4,9 Дж [142].

В результаті аналізу рисунка встановлено, що структури покриттів складаються з декількох ділянок, розміри яких залежать від енергетичних параметрів ЕІЛ. Зі збільшенням енергії розряду зростає товщина «білого» шару, його мікротвердість, мікротвердість в перехідній зоні, а також суцільність покриття (табл. 4.5).

Для зменшення шорсткості і суцільності поверхневого шару і протидії Ф-К на круглі зразки зі сталі 40Х, 30Х13 і 12Х18Н10Т (рис. 3.5) після

нанесення покриття складу Al-C-B проводили ЕІЛ сріблом, міддю та нікелем. Для дослідів використовували три серії зразків, зміцнених відповідно сріблом, міддю та нікелем. Результати вимірювання шорсткості поверхонь на всіх стадіях дослідів представлені в табл. 4.6.

Таблиця 4.5 - Параметри якості покриттів складу Al + B + C на сталі 40

Wp, Дж	Ra	Rz	Rmax	Hμ, МПа	h, мкм	S, %
0,13	1,2	2,9	7,4	6487	15	55
0,55	2,9	4,5	17,3	10351	20	75
4,9	9,3	19,5	48,2	12350	60	95

Для зменшення шорсткості і суцільності поверхневого шару і протидії Ф-К на круглі зразки зі сталі 40Х, 30Х13 і 12Х18Н10Т (рис. 3.5) після нанесення покриття складу Al-C-B проводили ЕІЛ сріблом, міддю та нікелем. Для дослідів використовували три серії зразків, зміцнених відповідно сріблом, міддю та нікелем. Результати вимірювання шорсткості поверхонь на всіх стадіях дослідів представлені в табл. 4.6.

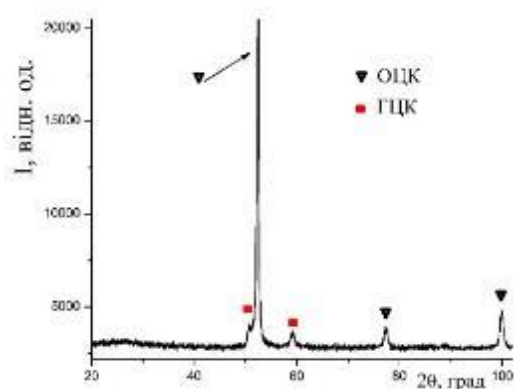
Нанесення методом ЕІЛ м'яких антифрикційних металів на твердий шар, який має високу шорсткість, за рахунок, використання значно менших режимів легування, зрізає виступи шорсткості і заповнює впадини останньої і таким чином сприяє її зниженню. Подальша БУФО, деформуючи виступи шорсткості ще більше зменшує її величину.

Для напресованих на вал деталей найбільшій Ф-К підлягають контактуючі поверхні, які знаходяться в районі торців на відстані 2-5 мм. Якщо на поверхню валу в більш вразливому від дії Ф-К місці, нанести методом ЕІЛ кільцеподібні покриття з антифрикційних металів з подальшою обробкою методом БУФО, то площа контактуючої поверхні збільшиться до 100%, що буде корисним як для збільшення герметичності нероз'ємного з'єднання, так і для зниження дії фреттинг-корозії.

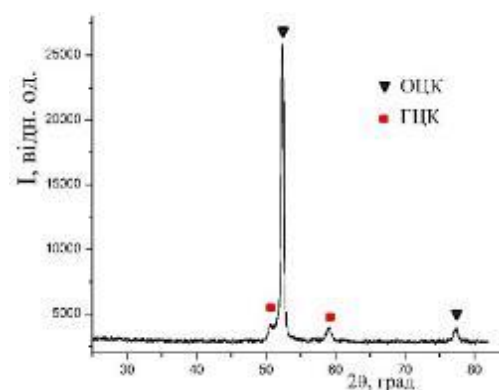
Таблиця 4.6 - Результати вимірювання шорсткості поверхонь на всіх стадіях дослідів зразків зі сталі 40X, 30X13 і 12X18H10T

Енергія нанесення покриття складу Al-C-B	Енергія нанесення покриття з м' якого металу	Покриття сріблом			Покриття міддю			Покриття нікелем		
		Шорсткість покриття складу Al-C-B	Шорсткість покриття після ЕІЛ сріблом	Шорсткість покриття після БУФО	Шорсткість покриття складу Al-C-B	Шорсткість покриття після ЕІЛ міддю	Шорсткість покриття після БУФО	Шорсткість покриття складу Al-C-B	Шорсткість покриття після ЕІЛ нікелем	Шорсткість покриття після БУФО
Сталь 40X										
0,13	0,55	1,25	0,72	0,42	1,21	0,82	0,47	1,31	0,95	0,57
0,55	-/-	2,93	0,85	0,45	2,87	0,89	0,56	2,53	1,23	0,61
4,9	-/-	9,39	0,92	0,55	9,29	1,16	1,35	8,93	1,86	1,45
Сталь 30X13										
0,13	0,55	1,28	0,75	0,51	1,24	0,92	0,53	1,31	1,75	0,57
0,55	-/-	2,83	0,99	0,63	2,81	1,07	0,68	2,53	1,93	0,61
4,9	-/-	9,68	1,22	0,69	9,31	1,26	1,41	9,53	2,86	1,55
Сталь 12X18H10T										
0,13	0,55	1,16	0,77	0,53	1,31	1,22	0,55	1,21	1,81	0,59
0,55	-/-	2,73	1,09	0,67	2,93	1,34	0,69	2,59	1,98	0,68
4,9	-/-	9,71	1,40	0,71	10,21	1,37	1,48	9,73	2,97	1,67

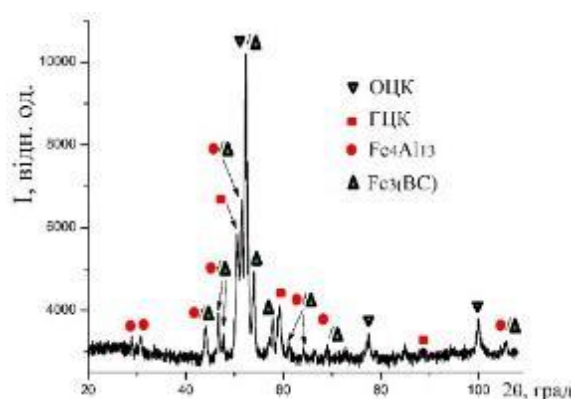
На рис. 4.11 представлені результати рентгеноструктурного аналізу, які свідчать про те, що при відносно невисоких значеннях енергії розряду наявні наступні фази в твердих розчинах ОЦК і ГЦК з параметром $a = 28,651$ нм і $36,189$ нм, відповідно (табл. 4.7).



а – $W_p = 0,13$ Дж



б – $W_p = 0,55$ Дж



в – $W_p = 4,9$ Дж

Рисунок 4.11 – Дифрактограми Al-C-B покриттів на сталі 40 [142].

На рис. 4.12 представлені результати мікрорентгеноспектрального аналізу покриттів складу Al-C-B, отриманих при енергії розряду 0,13 Дж і які свідчить про те, що при ЕІЛ відбувається насичення поверхневих шарів алюмінієм, бором і вуглецем. Слід відмітити, що при збільшенні енергії розряду дифузійна зона збільшується.

Можна припустити, що при одночасному насиченні сталі 40 Al, C і B методом ЕІЛ, в результаті перемішування матеріалу основи, консистентної речовини, що містить алюмінієву пудру, і матеріалу електрода – графіту, відбувається легування ОЦК-твердого розчину і збільшення його параметра. Крім того, прискорене охолодження після ЕІЛ призводить до утворення термічних напружень, в зв'язку з чим спостерігається додаткове збільшення параметру a і мікротвердості покриття.

Збільшення енергії розряду до $W_p = 4,90$ Дж, супроводжується крім існуючих твердих розчинів в вигляді ОЦК і ГЦК, появою інтерметалідів складу Fe_4Al_{13} і легованого цементиту $Fe_3(CB)$ (табл. 4.7), утворення яких супроводжується збільшенням мікротвердості поверхневого шару до 12350 МПа (табл. 4.5).

Таблиця 4.7 – Кількісний фазовий аналіз і основні параметри кристалічних ґраток фаз покриттів складу Al-C-B на сталі 40

Енергія розряду, Дж	Фаза	Період ґраток, <i>a</i> , нм	% (мас.)
0,13	Твердий розчин ГЦК	36,189	8,25
	Твердий розчин ОЦК	28,651	91,75
0,55	Твердий розчин ГЦК	36,189	8,31
	Твердий розчин ОЦК	28,651	91,69
4,9	Fe_4Al_{13}	$a = 153,920$ $b = 81,779$ $c = 124,914$ $\beta = 107,3709$	9,46
	$Fe_3(CB)$	$a = 50,818$ $b = 67,791$ $c = 45,170$	43,43
	Твердий розчин ГЦК	$a = 36,209$	14,24
	Твердий розчин ОЦК	$a = 28,699$	32,88

Таким чином, мікроструктурний аналіз Al-C-B покриттів поверхонь зразків зі сталі 40 дає підстави стверджувати, що сформований шар має ряд ділянок, кількість і розміри яких напряму залежать від енергетичних режимів ЕІЛ, переважно від енергії розряду.

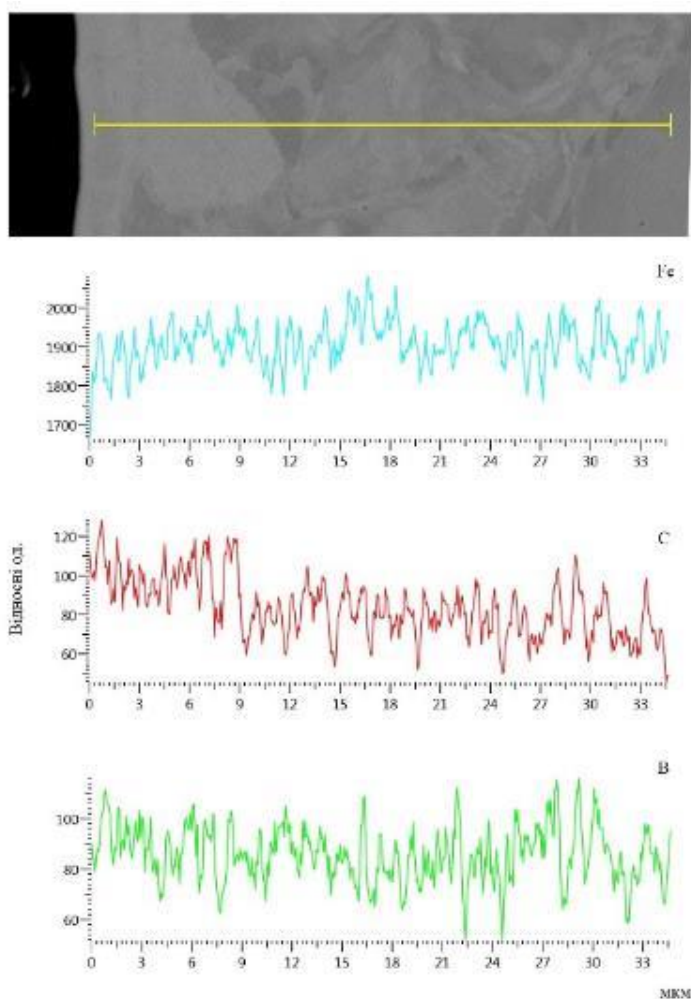


Рисунок 4.12 – Розподіл елементів (заліза, вуглецю, бору) у Al-C-B покриттях на сталі 40, $W_p = 0,13$ Дж [142].

Коли $W_p = 0,13$ і $0,55$ Дж поверхневі шари мають три ділянки:

- зміцнений «білий шар», що не травиться звичайними розчинами, товщиною до 29 мкм;
- перехідна зона;
- основний метал.

При збільшенні енергії розряду до 4,9 Дж з'являється ще одна ділянка - прошарок (20 мкм), який знаходиться під «білим шаром», товщина якого збільшується до 60 мкм. Мікротвердість також збільшується при збільшенні енергії розряду до 12350 МПа, а при $W_p = 0,13$ Дж вона складала 6487 МПа.

Крім цього зі збільшенням енергії розряду до 4,9 Дж з'являється нові фази, крім твердих розчинів ГЦК і ОЦК, присутніх при $W_p = 0,13$ і $0,55$ Дж виникають інтерметаліди Fe_4Al_{13} і легований цементит $Fe_3(CB)$.

4.4. Порівняльні випробування шийок сталей на зносостійкість

Для підвищення параметрів якості поверхневих шарів деталей, у тому числі і збільшення межі втомної міцності після ЦЕІЛ, як правило, застосовують методи поверхневої пластичної деформації. В останні роки для деталей тіл обертання після ЕІЛ металевими електродами, а також і при ЦЕІЛ використовують метод БУФО.

З метою вибору кращого матеріалу покриття для зміцнення шийок валів відцентрових насосів, що працюють в системах зрошення, нами проводились порівняльні дослідження результати яких приведені нижче

Покриття методом ЕІЛ наносили на круглі зразки у вигляді дисків зі сталі 40Х і сталі 30Х13, після чого піддавали БУФО. Методика іспитів детально описана в розділі 3.

В табл. 4.7 і на рис. 4.13 представлений характер зміни коефіцієнту тертя між зразками з різними покриттями та шаром бабіту, нанесеному на зразок у вигляді вкладишу підшипника ковзання.

Ваговий та лінійний знос поверхневих шарів сталей зразків представлений в табл. 4.8.

Аналіз табл. 4.8 показав, що зносостійкість сталі 40Х при ваговому зносі на 15 % менша ніж у сталі 30Х13, а також, відповідно на 150 % і 341 % чім у сталі 30Х13 після ЦЕІЛ з наступною БУФО і нанесення методом ЕІЛ сульфомолібденового покриття з наступною БУФО.

Таблиця 4.7 – Залежність коефіцієнту тертя між покриттям сталевих зразків та бабітом від часу іспитів

Сталь	Спосіб зміцнення	Коефіцієнт тертя							
		Години							
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
40X	Без зміцнення	0,1760	0,1790	0,1650	0,1500	0,1480	0,1430	0,1370	0,1180
30X13	Без зміцнення	0,1650	0,1700	0,1490	0,1340	0,1120	0,1270	0,1250	0,1270
40X	ЦЕЛ → БУФО	0,1310	0,1340	0,1230	0,1080	0,1010	0,1120	0,1100	0,1080
30X13	ЦЕЛ → БУФО	0,1140	0,1250	0,1140	0,1160	0,1060	0,1090	0,1050	0,1010
40X	ЕІЛ (Мо+S)→БУФО	0,0360	0,0450	0,0420	0,0360	0,0330	0,0340	0,0310	0,0300
30X13	ЕІЛ(Мо+S)→БУФО	0,0320	0,0380	0,0350	0,0300	0,0380	0,0290	0,0260	0,0250

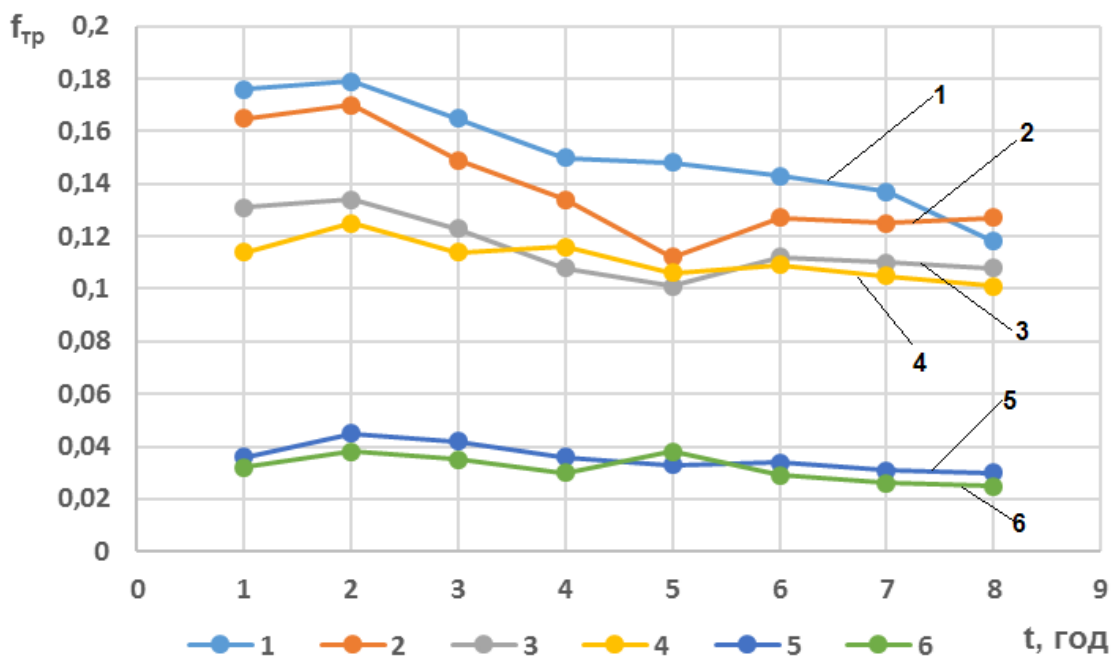


Рисунок 4.13 - Характер зміни коефіцієнту тертя (мастило - олія турбінна Т-22).

Аналіз зносостійкості при лінійному зносі показав, що зносостійкість сталі 40X менше зносостійкості сталі 30X13 на 9% і відповідно на 183 і 485 % ніж у сталі 30X13 після ЦЕЛ з наступною БУФО і нанесення методом ЕІЛ сульфомолібденового покриття з наступною БУФО.

Таблиця 4.8 – Результати зносу сталених зразків

Спосіб зміцнення сталі	Величина зносу	
	$\Delta m \times 10^3$, кг	Δh , мкм
40X	0,0750	6,5190
	0,0820	6,5210
	0,0730	6,5170
30X13	0,0680	6,0330
	0,0650	6,0270
	0,0630	6,0230
40X (ЦЕІЛ)	0,0310	2,3210
	0,0280	2,3170
	0,0270	2,3310
30X13 (ЦЕІЛ)	0,0230	2,2020
	0,0240	2,2040
	0,0210	2,2050
40X (Mo+S)	0,0190	1,1150
	0,0160	1,1140
	0,0170	1,1120
30X13 (Mo+S)	0,0120	0,8850
	0,0140	0,9010
	0,0130	0,9050

На рис. 4.14 представлені графіки лінійного зношування зразків зі сталі 40X і 30X13 без покриття (1 і 2), відповідно, а також з покриттям ЦЕІЛ + БУФО (3 і 4) і з сульфомолібденовим покриттям, нанесеним методом ЕІЛ.

В результаті аналізу рисунка можна відмітити, що у всіх зразків з перших хвилин лінійний знос найбільший (період припрацювання), який поступово зменшується і настає період стабільного зношування. Найменший знос сталевих зразків, з сульфомолібденовим покриттям, нанесеним методом ЕІЛ, який після 8 год іспитів складає для сталі 40X і сталі 30X13, відповідно 1,1 і 0,9 мкм.

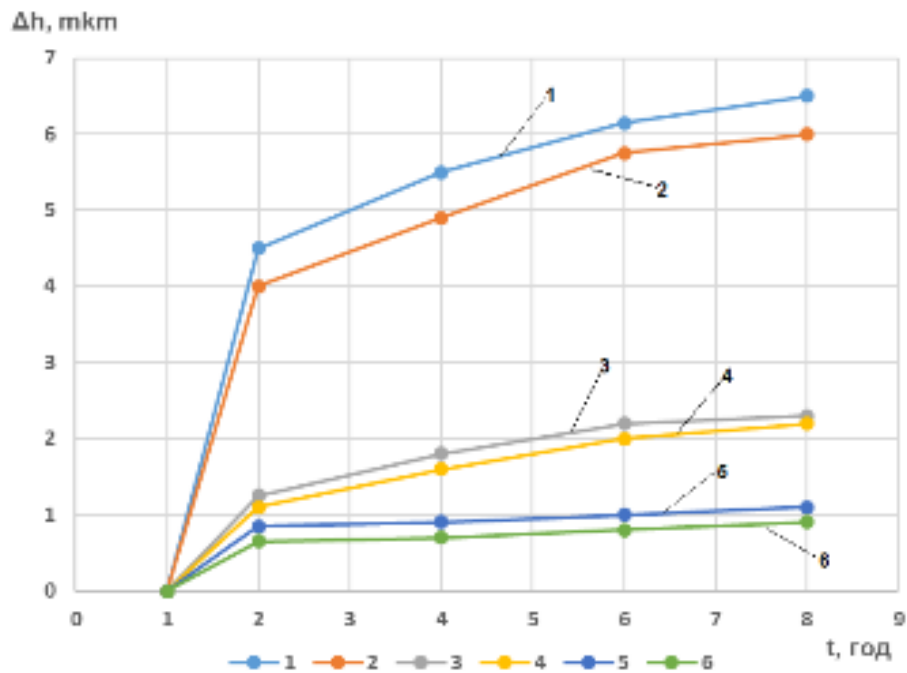


Рисунок 4.14 – Графіки зношування сталіх зразків.

Порівняльні іспити на зносостійкість проводили також для зразків з сталі 40Х і 30Х13 з покриттям, захищаючим поверхні сталевих валів в посадкових місцях (посадкових шийках). При іспитах поверхні круглих зразків, термооброблені на твердість, відповідно 180-200 і 230-250НВ, контактували з пластинами з твердого сплаву ВК8. Більш детально методика досліджень описана в розділі 3. Результати випробувань занесено до табл. 4.9.

Таблиця 4.9 - Результати порівняльних випробувань на знос сталіх зразків з метою захисту від фреттинг -корозії в нероз'ємних з'єднаннях

Марка сталі	Характеристика поверхневого шару	Вид зношування	
		$\Delta m \times 10^3$, кг	Δh , мкм
40Х	-	0,3130	6,1170
30Х13	-	0,2570	5,3540
40Х	ЕІЛ (Al-C-B) → БУФО	0,1760	2,3120
30Х13	ЕІЛ (Al-C-B) → БУФО	0,1050	1,6450

Аналіз таблиці показує, що зносостійкість зразків, виготовлених зі сталі 30X13 і нанесеним методом електроіскрового легування покриттям, складу Al-C-B з подальшою БУФО, вища незміцнених.

4.5. Висновки

1. Розроблений новий спосіб (патент України №142822) ЦЕІЛ сталей деталей, який можливо використовувати для зміцнення підшипникових шийок валів відцентрових насосів.

2. Запропонований новий спосіб (патент України №144932) формування на поверхнях підшипникових шийок валів відцентрових насосів, які використовують для зрошення, покриттів, сформованих з сірки і молібдену і які мають в своєму складі до 5% MoS₂.

3. Запропонована технологія (патент України №148495) зміцнення посадкових поверхонь сталей деталей, шляхом формування покриттів в склад яких входять алюміній, вуглець і бор, які можна використовувати на поверхнях валів відцентрових насосів.

4. Нанесення методом ЕІЛ м'яких антифрикційних металів, вибраних з групи Ag, Cu, Ni на поверхню покриття, яке складається з алюмінію, вуглецю і бору і яке має високу шорсткість, сприяє її зниженню. Подальша БУФО, деформуючи виступи шорсткості ще більше зменшує її величину і збільшує суцільність покриття до 100%.

5. Мікроструктурний аналіз Al-C-B покриттів поверхонь зразків зі сталі 40 дає підстави стверджувати, що сформований шар має ряд ділянок. При $W_p = 0,13$ і 0,55 Дж поверхневі шари мають три ділянки: зміцнений «білий шар», що не травиться звичайними розчинами, товщиною до 29 мкм; перехідна зона і основний метал. При збільшенні енергії розряду до 4,9 Дж з'являється ще одна ділянка - прошарок (20 мкм), який знаходиться під «білим шаром», товщина якого збільшується до 60 мкм. Крім цього зі збільшенням енергії розряду до 4,9 Дж з'являється нові фази - інтерметаліди Fe₄Al₁₃ і легований цементит Fe₃(CB).

При утворенні нових фаз відбулося суттєве (до 12350 МПа) підвищення мікротвердості в поверхневому шарі.

6. Зносостійкість сталі 40Х при ваговому зносі на 15 % менша ніж у сталі 30Х13, а також, відповідно на 150 % і 341 % чім у сталі 30Х13 після ЦЕІЛ з наступною БУФО і нанесення методом ЕІЛ сульфомолібденового покриття з наступною БУФО, а при лінійному зносі менше зносостійкості сталі 30Х13 на 9% і відповідно на 183 і 485 % ніж у сталі 30Х13 після ЦЕІЛ з наступною БУФО і нанесення методом ЕІЛ сульфомолібденового покриття з наступною БУФО.

7. Отримані результати порівняльних досліджень зносостійкості підшипникових і посадочних шийок валів, зміцнених за різними технологіями, дають можливість в подальших дослідженнях в дійсній роботі розробляти технології реновації валів відцентрових компресорів НА.

8. По матеріалам розділу опубліковані наступні роботи [126, 134, 136-138, 140-144].

РОЗДІЛ 5

РЕНОВАЦІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ І ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ, ЗАДІЯНИХ В СИСТЕМАХ ЗРОШЕННЯ

5.1. Забезпечення якості ремонту сталених валів відцентрових насосів

5.1.1. Ремонт шийок підшипників ковзання валів

До технології підвищення якості поверхонь підшипникових шийок валів застосовують безліч методів, основними з яких є ППД, СВЧ, цементацію та ін., результатом впливу яких зменшується шорсткість поверхні, підвищується мікротвердість поверхневого шару, в поверхневому шарі виникають напруження стику. Коли в процесі роботи насоса поверхневий шар руйнується (зношується) то зникає його саме тверда частина. Крім цього після переточування поверхні і перешліфовки додатково знімається ділянка зміцненого шару і його товщина значно зменшується. Виникає необхідність відновлювати мікротвердість поверхні.

Нами пропонується для відновлення мікротвердості поверхневого шарі шийки валу застосовувати удосконалений спосіб (патент України №142822) цементації методом електроіскрового легування, який виконують за допомогою компактного електрода-інструмента з графіту і порошку з вуглецю.

Враховуючи позитивні риси цього способу для підвищення якості технології відновлення, видалених при ремонті поверхневих шарів посадкових шийок валів, пропонується використовувати його в комбінації з одночасним подаванням в зону легування азоту. Слід відмітити, що спільне використання процесу ЦЕІЛ і азотування є нітроцементацією методом ЕІЛ, тобто (НЦЕІЛ). Пристрій для виконання НЦЕІЛ показаний на рис. 3.11.

Для порівняння в табл. 5.1 представлена мікротвердість поверхневих шарів, сформованих на зразках сталі 40Х після ТО на твердість 4000 МПа

різними методами, в міру поглиблення. Крок виміру складав 30 мкм. Крім цього в таблиці приведені результати виміру шорсткості поверхонь.

Таблиця 5.1 – Параметри мікротвердості і шорсткості поверхонь сталі 40Х після обробки різними технологіями

Спосіб зміцнення	Мікротвердість, МПа (крок виміру ~ 30 мкм)						Ra, мкм
	1	2	3	4	5	6	
*ЦЕІЛ	7010	3800	4300	4100	3900	3900	0,8
*НЦЕІЛ	10500	6200	5300	4300	4000	3950	0,7
НЦЕІЛ (новий спосіб)	10600	6300	5500	4500	4200	4000	0,6

* - [121].

Нижче, на рис. 5.1, представлені структури поверхонь зразків зі сталі 40Х і їх мікротвердість після обробки технологіями, згідно табл. 5.1

В результаті аналізу рисунка, можна стверджувати, що застосування нового способу НЦЕІЛ призводить до підвищенні параметрів якості поверхневого шару: збільшення мікротвердості і глибини зміцненого шару і зменшення його шорсткості.

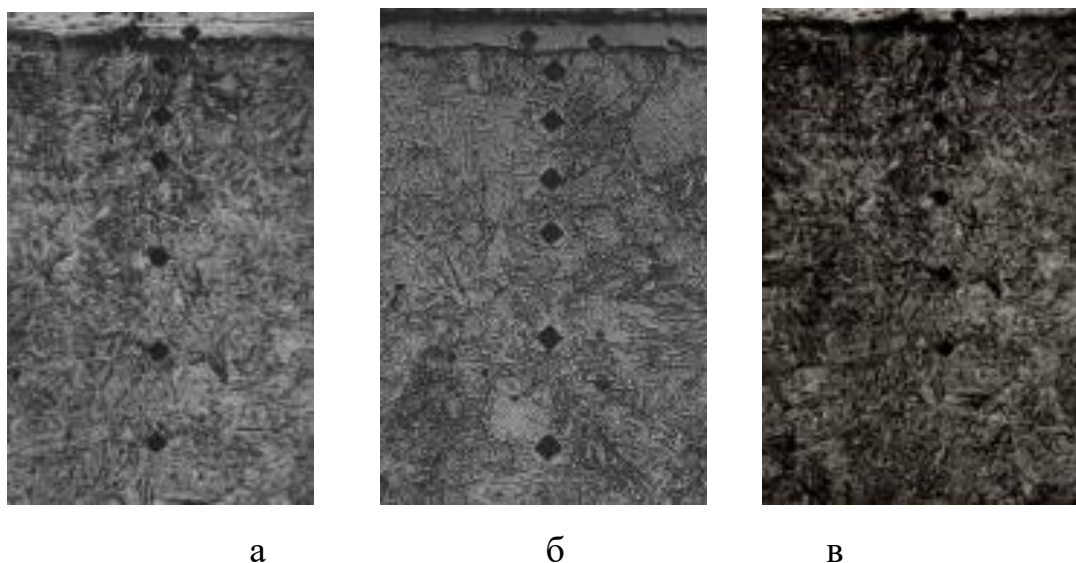
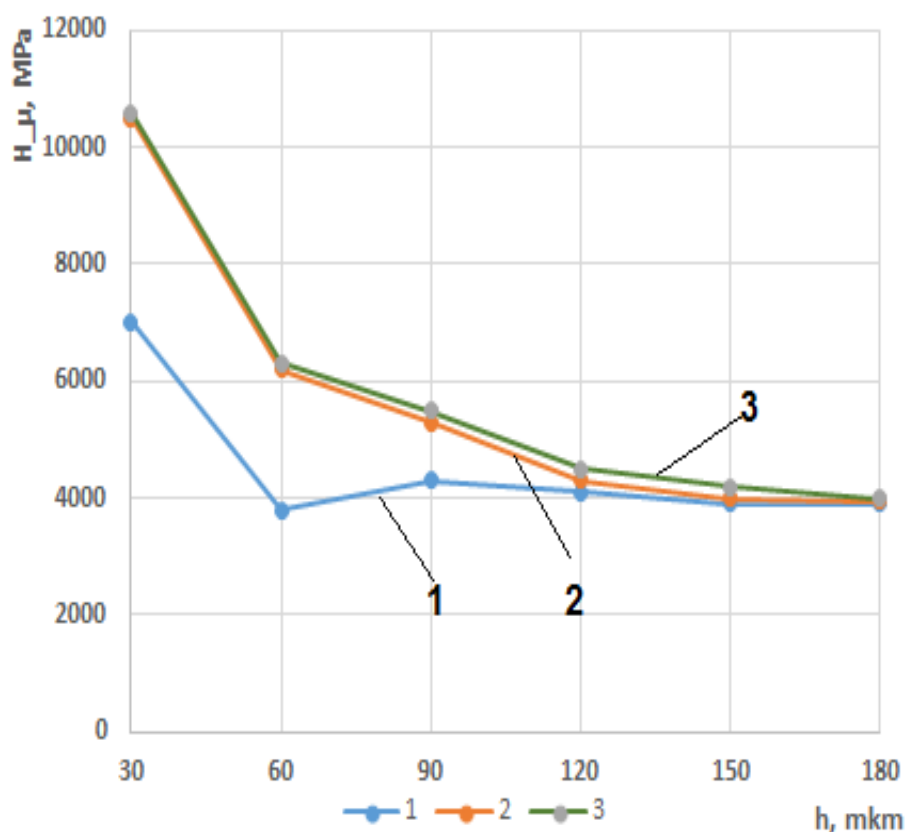


Рисунок 5.1 – Мікроструктура (а, б, в) зразків сталі 40Х після: а – ЦЕІЛ; б – НЦЕІЛ; в – НЦЕІЛ за новим способом.



Г

Продовження рисунка 5.1 – Мікротвердість поверхні зразків сталі 40Х, згідно табл. 5.1.

5.1.2. Ремонт посадочних шийок валів (патенти України №141919 і 141920)

Для захисту з'єднань сталевих деталей з натягом може бути корисним розроблений нами спосіб, який належить до галузі електрофізичної та електрохімічної обробки, а саме, до електроіскрового легування, і може бути застосований для виготовлення і ремонту деталей машин, що працюють в агресивних середовищах, і що піддаються постійному корозійному впливу.

Недостатньо відомостей про технології, які вирішують проблему відновлення робочих поверхонь деталей зі зносом від 0,2 мм і вище екологічно безпечними способами. Крім того, незважаючи на те, що ЕІЛ позитивно впливає на зносостійкість поверхневого шару, його застосування часто асоціюють зі збільшенням шорсткості поверхні виробів після ЕІЛ, нерівномірністю

поверхневого зміцнення, негативним впливом електроіскрового розряду на утомні властивості виробів і ін.

Метою для створення нового способу було забезпечити при формуванні покриттів, на поверхнях сталейних деталей, що зношуються:

- достатню товщину нанесеного шару;
- можливість чинити опір динамічним навантаженням;
- гарантувати надійність і довговічність роботи в агресивних середовищах;
- бути екологічно безпечним.

Для вирішення поставленої мети потрібно задіяти декілька екологічно безпечних методів, які виконують в наступній послідовності:

- шліфують зношену поверхню «як чисто»;
- наносять методом ЕІЛ (бажано на механізованій установці) комбіноване покриття (ЦЕІЛ + АІЕІЛ + ЕІЛ Т15К6);
- методом ППД знижують шорсткість поверхні і збільшують втомлювальну міцність (здатність чинити опір знакозмінним навантаженням);
- наносять армований МПМ (збільшують до 100% суцільність поверхневого шару);
- після полімеризації проточують, а частіше пришліфовують в розмір поверхневий шар.

Згідно з пропонованим способом, перед нанесенням КЕІП, поверхню валу шліфують до $Ra=0,5$ мкм. При формуванні КЕІП спочатку проводять ЦЕІЛ шліфованої поверхні, після чого виконують обробку цементованого шару алюмінієвим електродом-інструментом (АІЕІЛ) з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття Т15К6. Використання механізованої установки ЕІЛ-9 вдається значно збільшити товщину покриття (до 1,5 мм).

Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають ППД методом обкатки кулькою (ОК), Застосування ОК дозволяє усунути вказані вище недоліки ЕІЛ.

При формуванні покриття на "ЕІЛ-9" шорсткість покриття дорівнює $R_a = 9,7$ мкм, а суцільність досягає 80%. При ОК з питомим навантаженням $P = 2500$ МПа, ці параметри складають, відповідно 7,0 мкм і 90%.

Покращення параметрів якості поверхневого шару посадкових шийок валів (зниження шорсткості і збільшення суцільності) після ОК, супроводжується створенням сприятливих стискаючих напружень стиснення і таким чином збільшенням їх втомлювальної міцності.

Подальше нанесення МПМ, армованого при полімеризації порошком твердосплавної суміші ВК6, з видаленням частини полімеризованого шару до виступів шорсткості сплаву Т15К6, забезпечує кінцеву товщину нанесеного шару до 1,5 мм, збереження мікротвердості до 10100 МПа, зниження шорсткості до $R_a = 1,2$ мкм і підвищення суцільності до 100 %.

Такий спосіб відновлення зношених поверхонь є цілком екологічно безпечним. Пропонована технологія відновлення посадкових шийок сталей валів роторів, дозволяє зміцнити їх поверхні і отримати сформовані покриття високої якості і необхідної товщини екологічно безпечним методом.

Нижче показані результати досліджень формування зносостійкого покриття для деталей тіл обертання з корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т (у тому числі і посадочних шийок валів роторів відцентрових насосів).

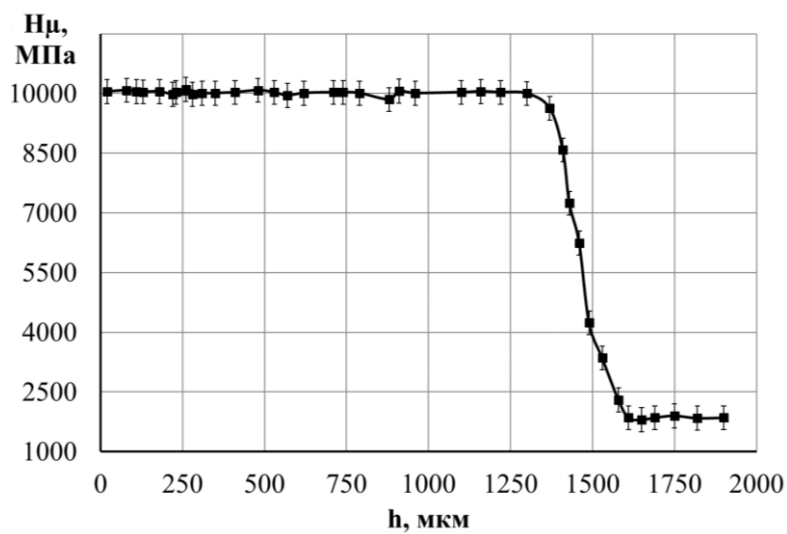
На рис. 5.2 показана мікроструктура (а) поверхневого шару зі сталі 12Х18Н10Т з покриттям, сформованим комбінацією декількох екологічно безпечних технологій в послідовності: ЦЕІЛ + ЕІЛАІ + ЕІЛ Т15К6 + ОК + МПМ армований порошком твердого сплаву ВК6 і його мікротвердість (б)

Аналіз рисунку показав, що поверхневий шар включає три основні ділянки, різні по товщині і мікротвердості:

- зверху знаходиться ділянка з металополімерного матеріалу, армованого частками порошку з твердого сплаву, яка має сірий колір і високою мікротвердістю по зрівнянню з неармованим МПМ - до 10000 МПа;



а



б

Рисунок 5.2 - Зображення на мікрофотографії поверхневого шару 12X18H10T з товстошаровим покриттям [137, 138].

- нижче знаходиться «білий шар» - світла ділянка, товщина якої знаходиться в межах 120-170 мкм, а мікротвердість по мірі поглиблення знижується з 9500 до 3500 МПа;

- ще нижче розташована дифузійна (перехідна) ділянка товщиною до 100 мкм і мікротвердістю, яка поступово знижується до мікротвердості основи.

Комбіноване покриття, яке наносять в послідовності: ЦЕІЛ → АІЕІЛ → ЕІЛ Т15К6 → ОК → МПМ, армований порошком твердого сплаву ВК6 дозволяє відновлювати зношені поверхні до 3000 мкм на діаметр, має 100 % суцільність, високу мікротвердість і шорсткість, яку потребує креслення на ці деталі.

5.2. Розробка технології реновації бабітових ПК

Більшість способів відновлення бабітових поверхонь ПК слід значно відрізняються один від іншого. Таким чином, можуть відрізнятися як властивості покриття, так і витрати на його нанесення.

Однією із суттєвих причин виходу ПК з ладу, при традиційній технології їх виготовлення, може бути неякісна підготовка поверхні під заливку бабітового шару (рис. 5.3), що може проявитись на різних стадіях їх експлуатації



а

б

в

Рисунок 5.3 – Руйнування бабітового шару ПК:

а – внаслідок його неякісної заливки;

б – відшарування в процесі експлуатації;

в – абразивне зношування [28].

Зі сказаного вище слід відмітити, що на надійність і довговічність ПК можуть впливати причини які можуть виникнути на усіх стадіях його життєвого циклу.

Слід зазначити, що при підвищенні температури в зоні тертя більше ніж 100°C різко знижуються механічні властивості поверхневого бабітового шару особливо опір втоми, який підвищується при зменшенні товщини його заливки.

Таким чином, чим тонше покриття, тим більшого навантаження воно витримує. Крім того, тонке покриття значно здешевлює спосіб виготовлення бабітових підшипників ковзання.

В 1-му розділі описана технологія формування бабітових покриттів на сталі 20 з підшаром із м'яких антифрикційних металів (міді, бронзи, олова), нанесених методом ЕІЛ, а також, що найбільш міцний зв'язок між сталлю 20 та бабітом забезпечує проміжний шар із міді.

Покриття, сформовані вище означеним способом можна наносити методом ЕІЛ товщиною в діапазоні від 0,25 до 1,0 мм. Збільшувати товщину нанесеного шару нема сенсу, як з економічної сторони, так і за рахунок втрачання покриттям механічних властивостей – зменшення межі міцності. Вкладиші, з проміжним шаром з міді є перспективними в роторних машинах, так як спосіб ЕІЛ гарантує міцний зв'язок, між основою зі сталі 20 і нанесеним бабітовим шаром. Спосіб нанесення бабітового шару методом ЕІЛ особливо доцільно використовувати при реновації вкладишів ПК для нанесення на зношені поверхні нового бабітового покриття.

Враховуючи різну початкову товщину нанесених бабітових покриттів, а також різні види руйнувань, що виявляються у відшаруванні окремих ділянок та руйнуванні в процесі експлуатації, виникає потреба у розробці технологічних рекомендацій їх реновації.

Нижче, в табл. 5.2, представлені параметри якості (збільшення ваги катода (ΔP_k), товщини (Δh) і шорсткості поверхні (R_z) поверхневого шару, сформованого після масопереносу з бабітового електрода-інструмента (анода) на катод - зразки зі сталі 20. До і після нанесення бабітового шару поверхні обробляли графітовим електродом-інструментом.

Аналіз табл. 5.2 дає можливість зробити висновок, що між збільшенням ваги катода і енергією розряду (W_p) відбувається експонентний зв'язок (рис. 5.4). Так відмічене, що збільшення ΔP_k зростає з збільшенням енергії активації масопереносу E .

З кореляційної залежності привіску катода від енергії розряду (див. рис. 5.4, б), слідує, що логарифм привіску $\ln \Delta P_k \sim (-W_p)^{-1}$ і енергії активації E (рис. 5.4, в).

Таблиця 5.2 – Результати параметрів якості бабітового покриття, сформованого на сталі 20

W _p , Дж	Перед ЕІЛ графітовим електродом-інструментом			Після ЕІЛ графітовим електродом-інструментом		
	Δh, мкм	ΔP _к , г·10 ⁴ /см ²	Rz, мкм	Δh, мм	ΔP _к , г·10 ⁴ /см ²	Rz, мкм
0,30	370	2,4	64,30	0,3	2,2	9,10
0,52	680	4,8	74,70	0,5	3,7	8,70
0,90	890	6,5	85,30	0,8	5,9	8,90
2,60	1340	9,9	112,40	1,2	8,8	8,60
4,60	1610	12,1	125,70	1,5	11,0	8,50
6,80	1750	12,9	131,20	1,6	11,8	8,10

$$\ln \Delta P_K \sim (-W_p)^{-1}, E. \quad (5.1)$$

Переходячи від наближеної рівності до точної, маємо:

$$\Delta P_K = C \cdot e^{\frac{-E}{W_p}}, \quad (5.2)$$

де $C = \Delta P_{KH}$ (ΔP_{KH} - привісок насичення).

Тоді

$$\Delta P_K = \Delta P_{KH} \cdot e^{\frac{-E}{W_p}}. \quad (5.3)$$

Залежність (5.3) можна враховувати як рівняння масопереносу бабіту на зразок (деталь).

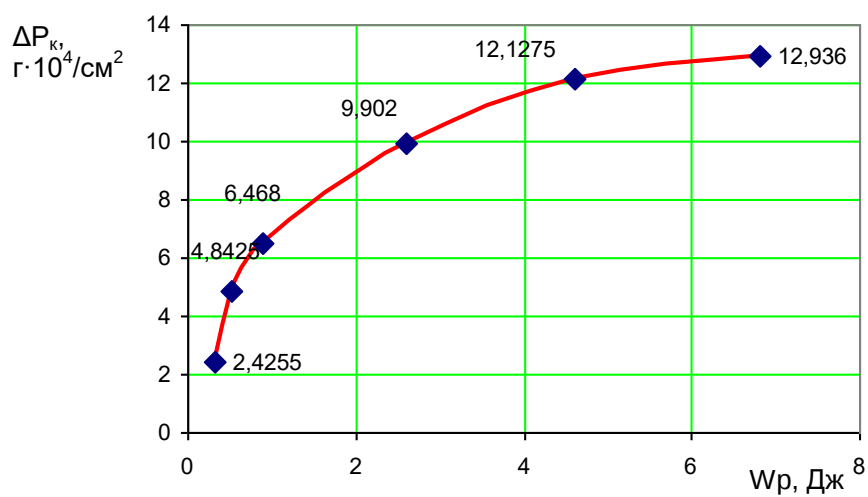
Якщо в (5.3)

$$E = W_p, \quad (5.4)$$

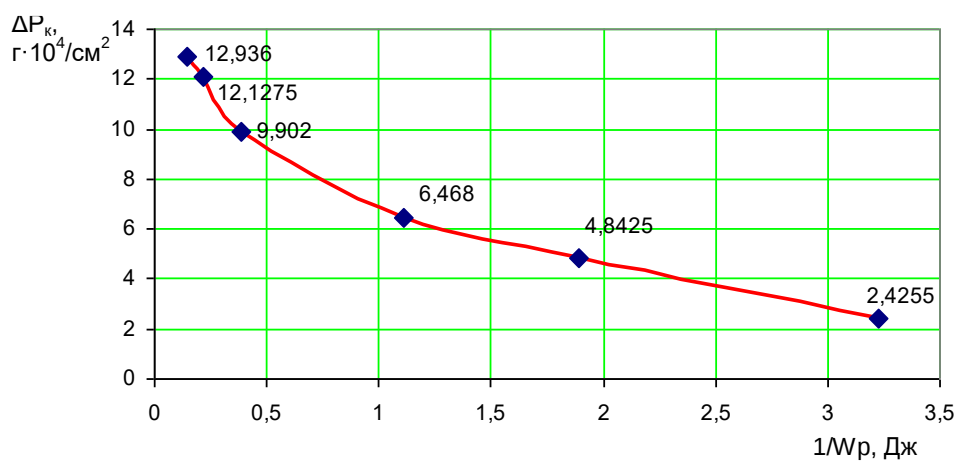
маємо:

$$\Delta P_K / \Delta P_{KH} = e^{-1}. \quad (5.5)$$

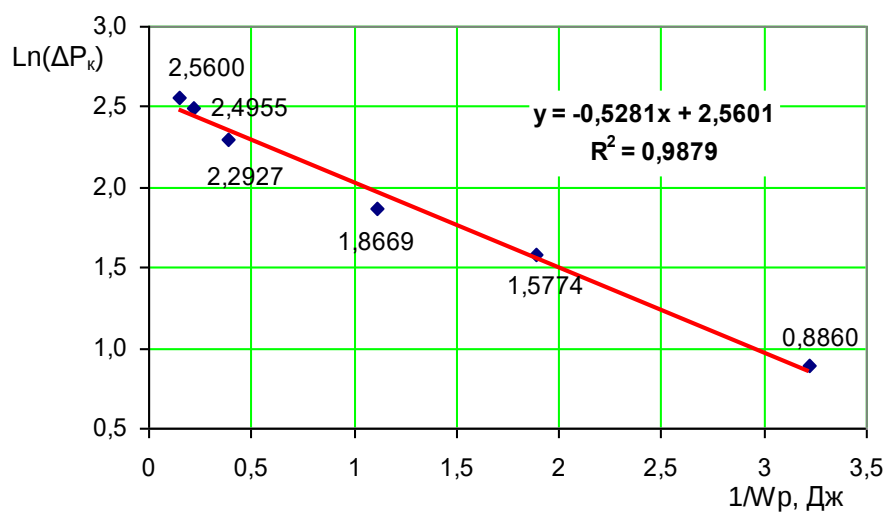
Таким чином, енергією активації E – може бути така фізична величина, рівна такій W_p , при якій привісок катоду у e раз менше максимального привіску на катоді.



а



б



в

Рисунок 5.4 – Залежність привіску катоду (ΔP_k) від: а - (W_p); б – (W_p)⁻¹; і
 $\ln \Delta P_k$ от ($-W_p$)⁻¹.

Цю величину можна визначити константою електроіскрового легування. Її розмірність Дж.

Коли треба замінити привісок на катоді на його приріст (Δh_c), то рівняння (5.3) необхідно представити у виді

$$\Delta h_c \cdot S \cdot r_c = \Delta h_{ch} \cdot S \cdot r_{ch} \cdot e^{\frac{-E}{W_p}}, \quad (5.6)$$

де S - площа легованої поверхні, а r_c і r_{ch} - щільність шару, який легують і максимального по товщині шару Δh_{ch} (шару насичення).

Тоді

$$\Delta h_c = \Delta h_{ch} \cdot \frac{r_{ch}}{r_c} \cdot e^{\frac{-E}{W_p}}. \quad (5.7)$$

Слід відмітити, що коли визначають товщину шару Δh_c , то при розрахунках треба враховувати на скільки змінилась його щільність.

Коли в (5.7) вставити (5.4), то отримаємо:

$$\Delta h_c = \Delta h_{ch} \cdot \frac{r_{ch}}{r_c} \cdot e^{-1}. \quad (5.8)$$

Тоді

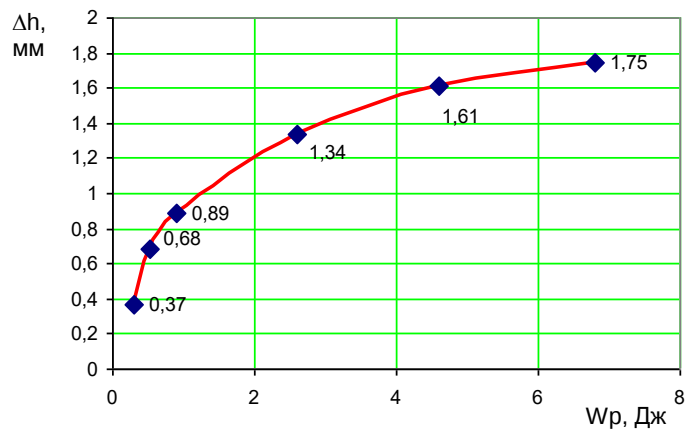
$$\frac{\Delta h_c}{\Delta h_{ch}} \cdot \frac{r_c}{r_{ch}} = e^{-1}. \quad (5.9)$$

Так, E – можна вважати фізичною величиною, яка що дорівнює такій W_p , коли $\Delta h_c \cdot r_c$ в e раз менше $\Delta h_{ch} \cdot r_{ch}$.

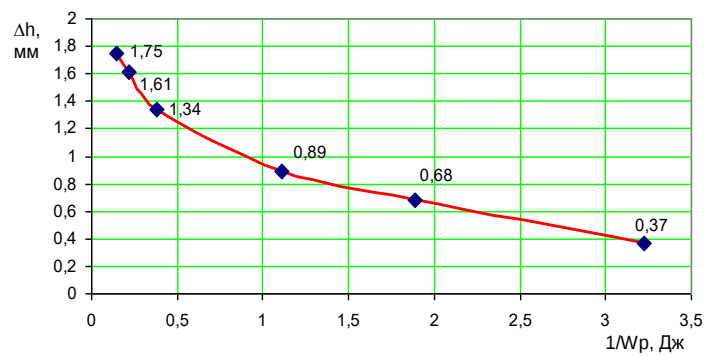
$$\text{Коли } r_{ch} = r_c, \text{ то } \frac{\Delta h_c}{\Delta h_{ch}} = e^{-1}.$$

Аналіз табл. 5.2 свідчить про те, що між Δh_c і W_p є кореляційна залежність (рис. 5.5, а), яка в першому наближенні нагадує експоненту. Крім цього відмічене, що при збільшенні W_p величина Δh_c зростає з збільшенням енергії активації масопереносу E .

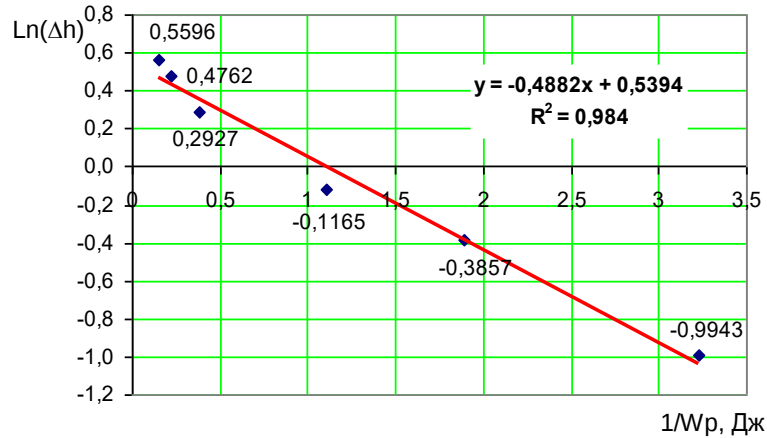
Тоді аналізуючи залежність Δh_c від W_p^{-1} , можна визначити, що логарифм товщини нанесеного шару $\ln \Delta h_c$ пропорційно $(-W_p)^{-1}$ і величині E (рис. 5.5, в).



а



б



в

Рисунок 5.5 – Залежність приросту ваги катода (Δh_c) від: а - (W_p); б - (W_p)⁻¹ та $\ln \Delta h_c$ від ($-W_p$)⁻¹.

Масоперенос впливає не тільки на кількість перенесеного матеріалу з аноду на катод та приріст катода, а також на шорсткість сформованого поверхневого шару. Для цієї пари електродів аноду і катода шорсткість

поверхневого шару формується при енергії розряду (W_{pRz}), відмінної від енергії активації процесу масопереносу.

Зі зростанням енергії розряду шорсткість поверхні збільшується тим більше, чим більше енергія розряду, витрачена на формування шорсткості поверхні $E_{\Delta Rz}$. Між шорсткістю поверхневого шару Rz та зворотною величиною енергії розряду W_{pRz}^{-1} до періоду насичення, коли $\Delta Rz = \Delta Rz_H = \Delta Rz_{max}$ існує експоненційна убутна залежність.

З експериментальної залежності ΔRz від W_p^{-1} (убутна експонента), можна відмітити, що

$$\Delta Rz \sim (-W_p)^{-1} \cdot E_{\Delta Rz},$$

або

$$\ln \Delta Rz \sim (-W_p)^{-1} \cdot E_{\Delta Rz}. \quad (5.10)$$

Якщо перейти до більш точної рівності, отримаємо:

$$\Delta Rz = C \cdot e^{\frac{-E_{\Delta Rz}}{W_p}}, \quad (5.11)$$

де $C = \Delta Rz_H$ (ΔRz_H – найбільша величина шорсткості поверхні шару, що сформувався), або шорсткість насичення.

Тоді

$$\Delta Rz = Rz_H \cdot e^{\frac{-E_{\Delta Rz}}{W_p}}. \quad (5.12)$$

Залежність (5.12) назвемо рівнянням прогнозування шорсткості поверхні.

Приймаючи в (5.12)

$$E_{\Delta Rz} = W_p, \quad (5.13)$$

маємо:

$$\frac{\Delta Rz}{Rz_H} = e^{-1}. \quad (5.14)$$

Звідси $E_{\Delta Rz}$ – це критична величина, що дорівнює такій енергії розряду, при якій ΔRz в рази менше ΔRz_H . Цю величину можна враховувати як константу рівняння шорсткості поверхні при ЕІЛ. Її розмірність Дж.

Із залежностей (5.1-5.14) та значень табл. 5.2 можливо знайти коефіцієнти рівнянь (5.3), (5.7) і (5.12). Результати занесені в табл. табл. 5.3.

Для якісного нанесення на зруйновану ділянку вкладишу ПК бабітового покриття або його відшарування (рис. 5.3, а, б), необхідно обробити металевою щіткою зіпсовану площину, після чого потрібно ретельно заміряти товщину бабітового шару до незруйнованої поверхні, потім провести знежирювання поверхні сталі 20, яку потрібно відновлювати, електродом-інструментом з міді, пошарово сформувати покриття, відповідно при $W_p = 0,27$ і $0,05$ Дж.

Таблиця 5.3 - коефіцієнти рівнянь (5.3), (5.7) і (5.12)

ΔP_k до ЕІЛ вуглецем	ΔP_k після ЕІЛ вуглецем	Δh_c до ЕІЛ вуглецем	Δh_c після ЕІЛ вуглецем	Rz
$\Delta P_{кн}, \Gamma \cdot 10^4 / \text{см}^2$		$\Delta h_{сн}, \text{мм}$		$\Delta R_{zн}, \text{мкм}$
12,9	11,6	1,7	1,6	125,1
E		E, Дж		$E_{\Delta R_z}, \text{Дж}$
0,52	0,53	0,48	0,54	0,23

По відомій (потрібній) товщині шару Δh_c , сформованого після обробки вуглецевим електродом-інструментом, та коефіцієнтам рівнянь (5.3), (5.7) і (5.12), відповідно $\Delta h_{сн} = 1,6$ мм та $E = 0,54$ Дж (табл. 5.3) по (5.7) можливо знайти енергію розряду W_p .

$$W_p = \frac{E}{\ln \frac{\Delta h_{сн}}{\Delta h_c}} \quad (5.15)$$

Потім по відомій W_p та коефіцієнтам: $\Delta h_{сн} = 1,7$ мм та $E = 0,49$ Дж (табл. 5.3), по (5.7) можна знайти товщину до ЕІЛ вуглецевим електродом-інструментом бабітового шару Δh_c (рис. 5.6).

Також, знаючи W_p та коефіцієнти: $\Delta R_{zн} = 125,1$ мкм та $E_{\Delta R_z} = 0,23$ Дж (табл. 5.3), можливо знайти величину шорсткості бабітового шару до ЕІЛ вуглецевим електродом-інструментом.

Враховуючи, що щільність бабіту за ГОСТом 1320-74, дорівнює $7,350 \text{ г/см}^3$ і користуючись залежностями ΔP_k від W_p (рис. 5.7) по (5.3) можна знайти приріст ваги на катоді при будь якій W_p і відповідно розрахувати щільність нанесеного бабітового шару.

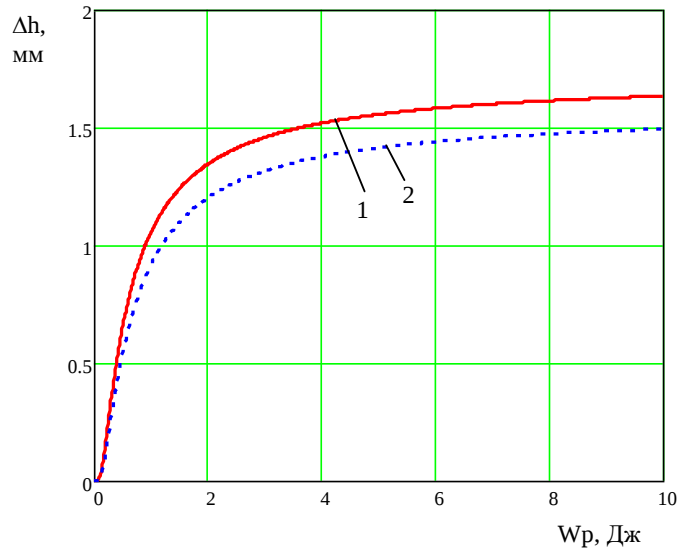


Рисунок 5.6 – Залежність Δh_c від W_p : 1 і 2 – товщина Δh_c , відповідно, до і після ЕІЛ вуглецевим електродом-інструментом.

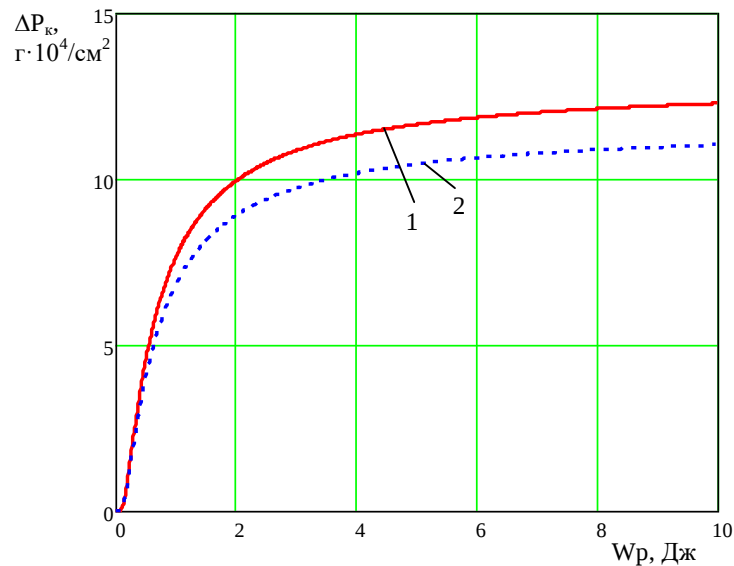


Рисунок 5.7 – Залежність ΔP_k від W_p : 1 - приріст ваги катода; 2 - приріст катода після ЕІЛ вуглецевим електродом-інструментом.

Нижче наведено технологію реновації зношеного і відшарованого шару бабіту ПК.

1. Проводиться ретельний вимір товщина нанесеного і незруйнованого бабітового шару. Він складає $\Delta h_c = 1,20$ мм.

2. По відомим: $\Delta h_c = 1,2$ мм і коефіцієнтам: $\Delta h_{ch} = 1,6$ мм та $E = 0,54$ Дж (табл. 5.3) по (5.15) можна знайти необхідну W_p для нанесення шару бабіту на зношену ділянку.

$$W_p = \frac{E}{\ln \frac{\Delta h_{ch}}{\Delta h_c}} = \frac{0,5438}{\ln \frac{1,576}{1,2}} \approx 2,0 \text{ Дж.}$$

3. По відомим W_p та коефіцієнтам: $\Delta h_{ch} = 1,7$ мм та $E = 0,49$ Дж (табл. 5.3), по (5.7) можна знайти Δh_c^1 , сформованого до ЕІЛ вуглецевим електродом-інструментом бабітового покриття.

При $r_{ch} = r_c$,

$$\Delta h_c^1 = \Delta h_{ch} \cdot e^{\frac{-E}{W_p}} = 1,715 \cdot 2,718^{\frac{-0,4882}{2}} = 1,340 \text{ мм.}$$

4. Згідно з (5.12) та коефіцієнтів: $\Delta R_{zn} = 125,1$ мкм та $E_{\Delta R_z} = 0,23$ Дж (табл. 5.3), можна знайти ΔR_z до ЕІЛ вуглецевим електродом-інструментом.

$$\Delta R_z = R_{zn} \cdot e^{\frac{-E_{\Delta R_z}}{W_p}} = 125,0858 \cdot 2,718^{\frac{-0,2321}{2}} = 0,890 \text{ мкм.}$$

5. Площину зруйнованого шару бабіту (рис. 5.8, а) легують міддю, потім обробляють вуглецевим електродом-інструментом і наносять при $W_p = 2,0$ Дж шар покриття (рис. 5.8, б).

6. Деякі зруйновані місця (рис. 5.8, б) обробляють бабітовим електродом-інструментом з $W_p = 0,30$ Дж. Потім знову поетапно обробляють вуглецевим електродом-інструментом, відповідно при $W_p = 0,27$ і $0,05$ Дж. І нарешті всю площину обробляють бабітовим електродом-інструментом з $W_p = 0,05$ Дж. (рис. 5.8, в) і полірують (рис. 5.8, г).

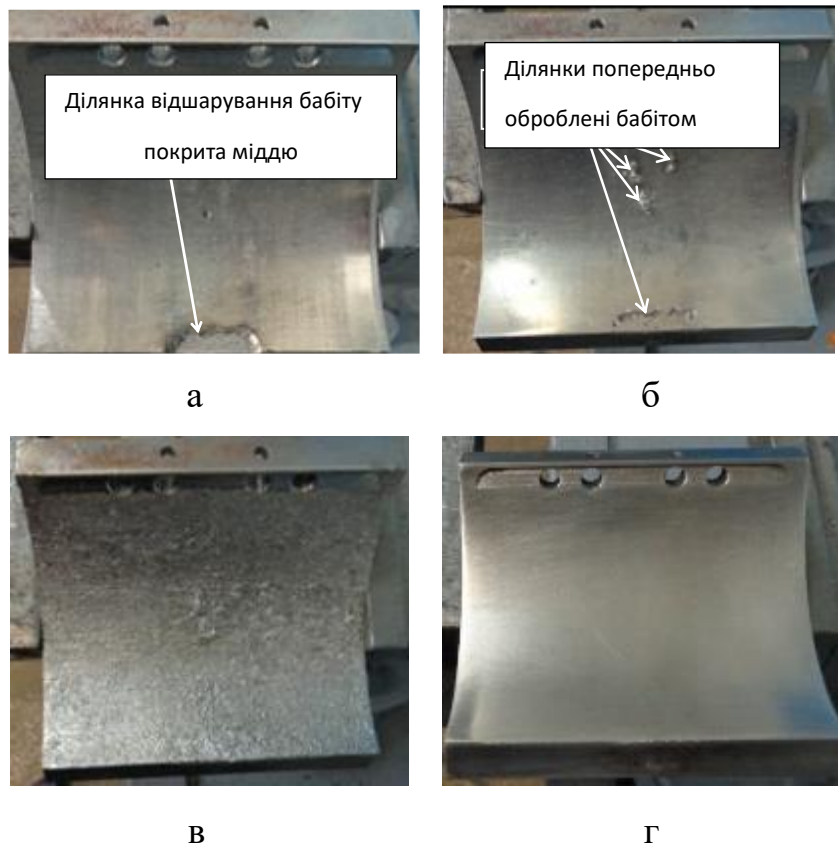


Рисунок 5.8 – Різні стадії відновлення покриття ВП: а – ЕІЛ ділянки відшарування покриття міддю; б - ЕІЛ найбільш пошкоджених ділянок покриття бабітом Б88; в – ЕІЛ усієї поверхні ВП бабітом Б88; г - полірування всієї поверхні ВП.

Таким чином, на підставі проведених досліджень:

- встановлені експериментальні залежності параметрів якості шарів, відновлюваних в окремих місцях поверхонь бабітових вкладишів ПК (приросту ваги катода (ΔP_k), товщини нанесеного шару (Δh) і шорсткості поверхні (R_z) після нанесення бабіту) від режимів обладнання;
- встановлено коефіцієнти рівнянь прогнозування масопереносу (5.3), товщини прирощеного шару (5.7) та шорсткості поверхні (5.12);
- розроблені математичні моделі (рівняння масопереносу), пов'язуючи режими енергетичного обладнання з параметрами якості бабітових поверхонь вкладишів ПК та методику для визначення їх констант.

5.3. Технологічне забезпечення модернізації НА зрошувального землеробства

5.3.1. Модернізація приводу

В зрошувальному землеробстві України завжди існувала велика кількість проблем без вирішення яких неможливо забезпечувати безаварійну роботу задіяного обладнання. Однією з основних причин, що перешкоджають забезпеченню безаварійної роботи обладнання, є його фізичне старіння, що перш з усього пов'язано з дефіцитом коштів і як наслідок його своєчасної заміни. Підвищення надійності і довговічності НА дозволить забезпечити в системах зрошування довготривалу безаварійну роботу і таким чином отримати більшу урожайність.

Насосні агрегати в своєму складі мають декілька окремих складальних одиниць від надійної роботи яких залежить довготривала робота всього агрегату. Привід НА треба розглядати одним з таких вузлів. Як правило приводом відцентрового насосу НА є асинхронний електродвигун (АД). Частіше з усього АД втрачають свою працездатність внаслідок порушення роботи кулькових підшипників або проблем з пошкодженням обмоток. Вихід з ладу кулькового підшипника пов'язана перш з усього з ненадійною роботою ущільнення, яке не дозволяє попаданню в його корпус різнорідних включень (пилі, грязі, абразиву і др.) тобто не забезпечує його герметичність.

Для вибору більш надійного ущільнення нами були проведені математико-статистичні дослідження, пов'язані з відмовами асинхронних двигунів і вибору ущільнення, застосування якого забезпечить найбільшу герметичність.

Було прийнято, що електродвигун зупиняється в наслідок: руйнування кулькового підшипника складає майже 73%, дратові обмотки корпусу до 24%, пошкодження на шийках валу до 3% від усіх зупинок двигуна.

На рис. 5.9 показані характерні руйнування електродвигунів, які знаходились в різних підприємствах республік СНГ на протязі різного часу.

Після цього були проведені дослідження інтенсивності порушень їх роботи в зв'язку з сезонними змінами. Наслідки проведених досліджень зведені в табл. 5.4.

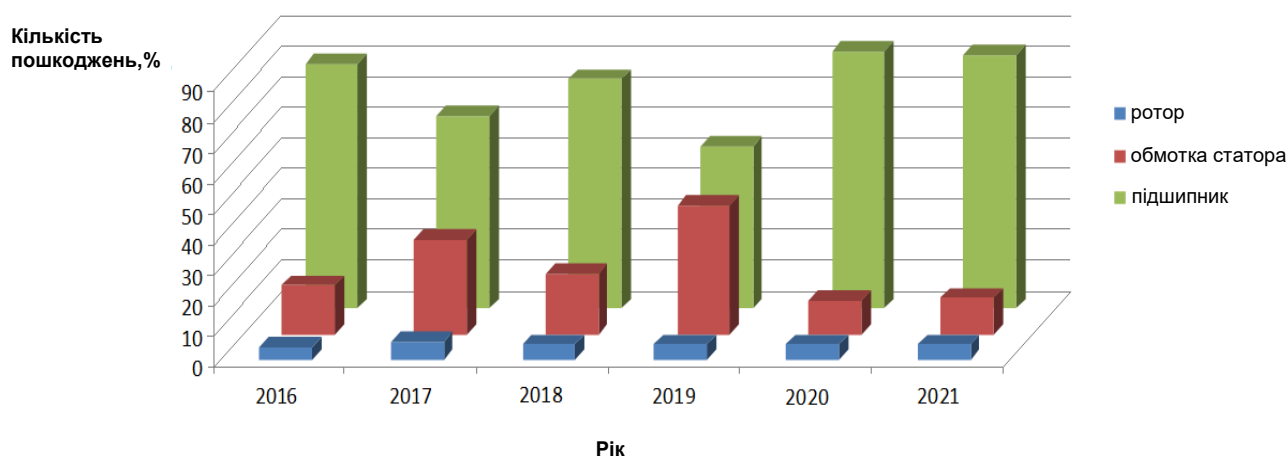


Рисунок 5.9 – Діаграма характеру пошкоджень АД на підприємствах України та середньої смуги Росії за шість років.

Таблиця 5.4 – Середньомісячні інтенсивності відмов електродвигунів

Компоненти аналізу	Час відмов											
	I *	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII *
Інтенсивність зупинок, $\lambda \cdot 10^{-5}, \text{ч}^{-1}$	13,0	11,9	10,6	11,5	7,7	11,0	14,9	15,9	6,	9,8	12,0	17,0
Коефіцієнт варіації зупинок, %	76	46	60	48	80	41	55	35	98	74	57	60

*- I - XI - місяці.

Аналіз табл. 5.4 показав, що більше всього зупинок АД у жаркі місяці часу, хоч і в зимовий час, коли електродвигун зупинений, зупинки також великі. Слід відмітити, що в жаркі місяці багатьох виробництв вживають обладнання, яке зволожує повітря.

Довготривале використання засвідчило, що ці ущільнення не зовсім відповідають вимогам, що до них пред'являють в різні часи року. Їх герметичність не виключає попадання рідини в корпус кульового підшипника,

що викликає псування масла, ржавіння корпусу і кільок, виходу з ладу обмоток АД.

Практично повну 100% герметичність підшипникового вузла, за заданих умов роботи і мінімальне зношування і простоту обслуговування, можуть забезпечити ущільнення з магніторідинними герметизаторами (МРГ).

У спрощеному вигляді МРГ можна представити як набірну магнітну систему, затиснуту між двома сталевими кільцями – полюсними наконечниками, що охоплюють вал зовні та ув'язненими у немагнітну обойму. Магнітне поле замикається через зазор між полюсними наконечниками та валом, який заповнюється рідиною, що володіє властивостями магніту і утримується магнітним полем. Розмір зазору в ущільненні не перевищує 0,250 мм.

Магнітні рідини (МР) це унікальні середовища, які здатні позитивно взаємодіяти з магнітними полями, що дозволяє їм знаходитись в потрібній галузі простору за рахунок магнітного поля і здатні виштовхувати під його дією інші тіла, які на мають магнітних властивостей.

В результаті слід відмітити:

- надійна робота НА, що працюють в зрошувальному землеробстві, дуже залежить від спроможності якісної роботи їх електродвигунів;
- основною причиною виходу з ладу електродвигунів є руйнування кулькових і роликових підшипників;
- надійна робота підшипників в значної мірі залежить від 100% герметичності ущільнень які при цьому використовують;
- впровадження в зрошувальному землеробстві для захисту електродвигунів НА ущільнень з МРГ допоможе вирішити проблему герметичності на 100 %.

5.3.2. Модернізація муфт

Пружна муфта (ПМ) виконує призначена для передачі крутного моменту від приводу (електродвигуна) до відцентрового компресору і таким чином вона з обох сторін напівмуфтами 1 і 7 з'єднується з валами приводу і ВН. Для

компенсації можливої розцентровки валів використовуються пакети з гнучких елементів 2, 4, 6 які розділені проставками 3 і 5 (рис. 5.10).

Гнучкі елементи (рис. 5.11) представляють собою тонкі (0,25-1,0 мм) пластини з високоміцної нержавіючої сталі ВНС 9, ВНС 5, ВНС 2, а також можуть виготовлятись з холоднокатаної сталі 12Х18Н10.

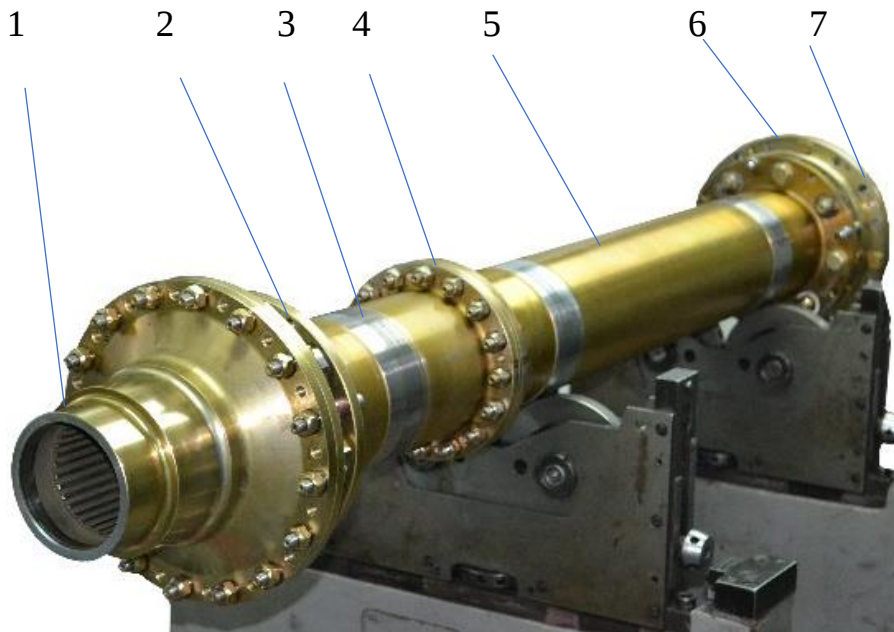


Рисунок 5.10 – Пружна з'єднувальна муфта: 1, 7 – напівмуфти, 2, 4 і 6 – пакети пружних елементів, 3 і 5 – проставки.

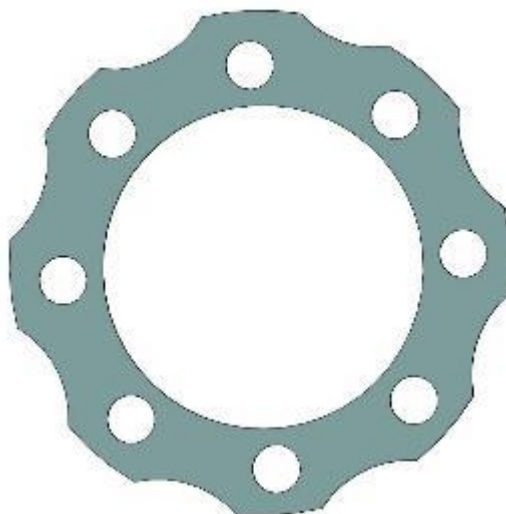


Рисунок 5.11 – Схематичне зображення гнучкого елемента.

Зниження Ф-К гнучких елементів (патент України на корисну модель №151426)

Суттєвим недоліком ПМ є схильність поверхонь гнучких елементів (ГЕ) до фреттинг-корозії (Ф-К), що має велику небезпеку, оскільки може бути первопричиною їх втомного руйнування і зупинки насосного агрегату.

Таким чином, існує задача створення способу, який би забезпечив ГЕ від дії фреттинг-корозії і таким чином підвищив їх довговічність в більш жорстких умовах експлуатації за рахунок покращення їх параметрів якості.

Для вирішення поставленої задачі нами був розроблений спосіб, що включає виготовлення гнучких елементів, нанесення на їх сполучні поверхні попередньо приготованого метало мастильного матеріалу (МММ), до складу якого входить парафін, мідь, дисульфід молібдену та порошок графіту.

Порівняльними дослідженнями, методика яких представлена в розділі 3 встановлено, що запропонованим способом, при застосуванні плакувальних мастильних матеріалів можливо зменшити знос від Ф-К приблизно, на 50 %.

Результати досліджень наведені у табл. 5.5 і представлені на рис. 5.12.

Таблиця 5.5 – Результати порівняльних досліджень ГЕ, зруйнованих фреттинг-корозією [145]

Склад МММ	Шорсткість, мкм		
	Ra	Rz	Rmax
сталь 12X18H9	1,6	6,3	7,2
25% Cu + 25% дисульфід молібдену + 50% парафін	0,3	2,1	2,9
5% Cu + 5% дисульфід молібдену +5% C + 85% парафін	0,3	2,5	3,1
5% Cu + 5% дисульфід молібдену +25% C + 55% парафін	0,3	2,4	3,1
5% Cu + 5% дисульфід молібдену +50% C + 40% парафін	0,2	2,5	3,1
25% Cu + 25% дисульфід молібдену +5% C + 45% парафін	0,2	2,0	2,6
25% Cu + 25% дисульфід молібдену +25% C + 25% парафін	0,1	1,8	2,3
20% Cu + 20% дисульфід молібдену +50% C + 10% парафін	0,1	1,8	2,3
30% Cu + 30% дисульфід молібдену +30% C + 10% парафін	0,1	1,6	2,2

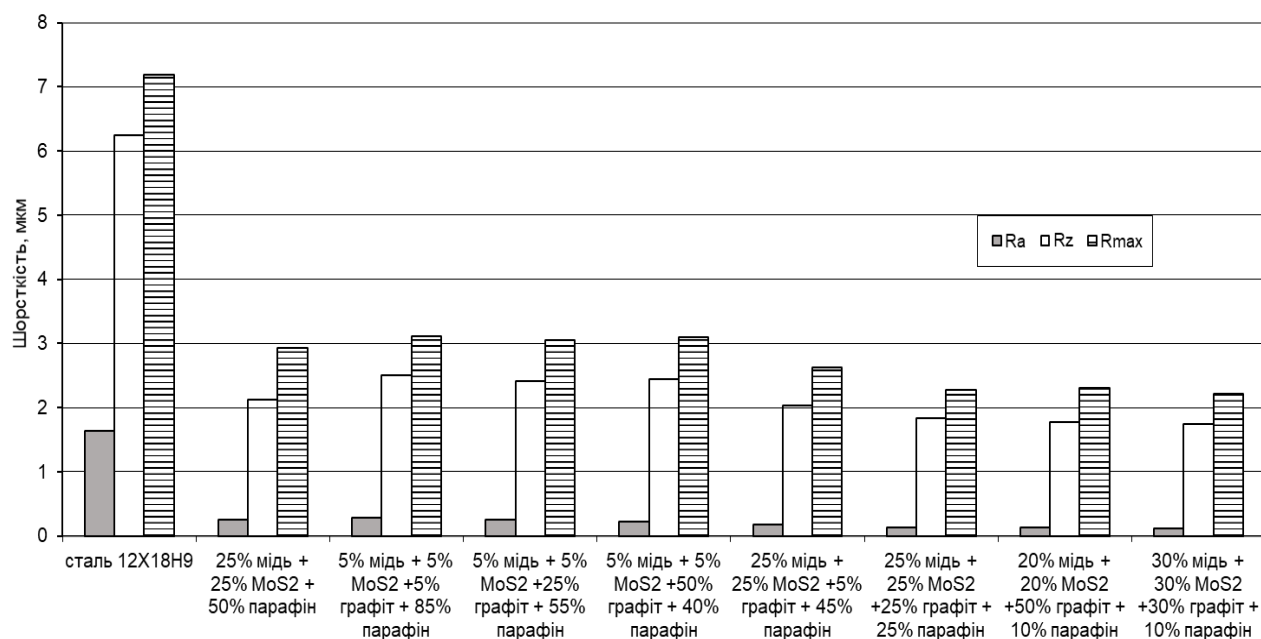


Рисунок 5.12 – Діаграма шорсткості поверхонь випробовуваних зразків [145].

Реалізація запропонованої технології можлива з механізованим нанесенням досліджуваних МММ на гнучкі елементи пружних муфт. Для цього застосовується спеціалізована установка для металоплакування. При механізованому способі заготовки гнучких елементів ПМ занурюють в розплав мастильного матеріалу, що знаходився у ємності установки для металоплакування.

Зниження Ф-К кріпильних деталей (патент України на корисну модель № 142811)

Слід відмітити, що Ф-К в процесі експлуатації пружної муфти підлягають не тільки гнучкі елементи, а й набір метизів, що скріплюють окремі деталі і входять в вузол, який є найбільш відповідальною ланкою, яка лімітує працездатність ПМ.

На рис. 5.13 представлені пари тертя пружної муфти, поверхні яких зношуються від Ф-К і які можливо захистити шляхом використання, запропонованого нами способу епіламування.

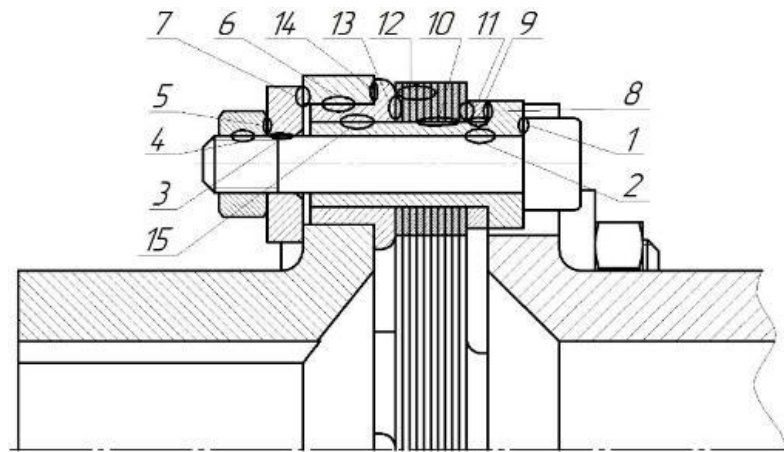


Рисунок 5.13 – Контактуючі поверхні ПМ, що піддаються Ф-К: втулка і головка болта; – втулка і шийка болта; – шайба і шийка болта; – різьба болта і гайки; – шайба і гайка; – напівмуфта і п'ята; – напівмуфта і шайба; – мала шайба і головка втулки; – мала шайба і шийка втулки; – ГЕ і шийка втулки; – ГЕ і мала шайба; – ГЕ і ГЕ; – ГЕ і п'ята; – напівмуфта і п'ята; – втулка і п'ята [140].

Методика проведення дослідів по епіламуванню метизів (болтів, шайб, гайок і втулок) достатньо описана в розділі 3. На рис. 5.14 представлені результати дослідів у вигляді графіків.

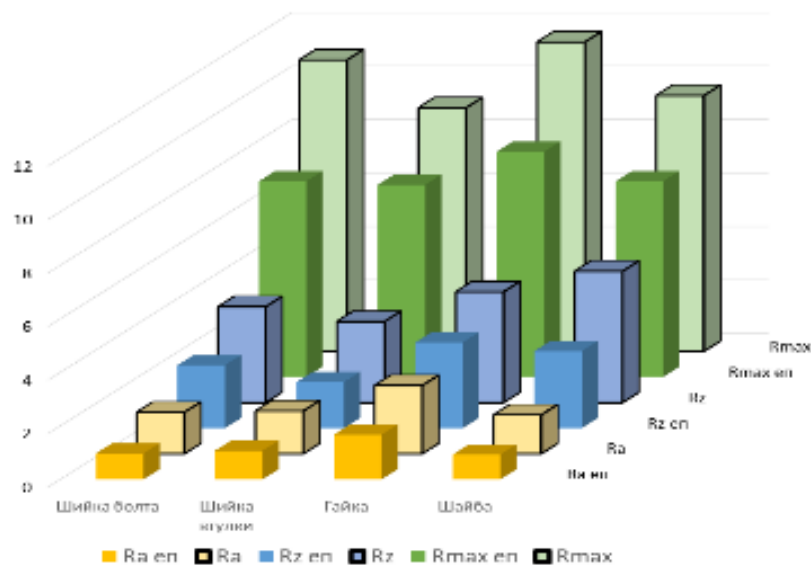


Рисунок 5.14 – Шорсткість поверхонь метизів після (1, 3 і 5-й ряди) обробка епіламом; і без обробки епіламом (2, 4 і 6 ряд) [137, 140].

5.4. Практичне значення і промислове впровадження результатів, отриманих в роботі

В результаті проведених в дисертаційній роботі досліджень нами розроблено ряд технологічних рекомендацій, згідно удосконалення існуючих і розробці нових технологій, пов'язаних з підвищенням якості поверхневих шарів найбільш відповідальних деталей насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення, що дає можливість покращити їх надійність, довговічність та експлуатаційні можливості.

Для покращення якості поверхневих шарів підшипникових шийок (ПШ) валів відцентрових насосів, які контактують з поверхнею бабітових вкладишів, запропоновані технологічні рекомендації які полягають в проведенні цементації поверхонь та нанесенні методом ЕІЛ зносостійких сульфомолібденових покриттів. При реновації зношених поверхонь підшипникових шийок до практичної реалізації рекомендується використовувати нову технологію нітроцементзації, яка поєднує ЦЕІЛ з подачею в зону легування азоту і завдяки покращенню параметрів якості поверхні перевищує існуючи до цього. В якості заключної операції як при виготовленні, так і при реновації підшипникових шийок валів потрібно виконувати безабразивну ультразвукову фінішну обробку (БУФО).

Для зміцнення поверхневих шарів посадкових шийок валів (ШВ) в якості заключних операцій, при їх виготовленні, рекомендується на їх поверхню наносити методом ЕІЛ зносостійке покриття складу Al-C-B, а потім проводити БУФО. При реновації зношених посадкових шийок валів нами рекомендується використовувати комбіновану і екологічно безпечну технологію, яка складається з нанесення на зношену поверхню методом ЕІЛ композиційного покриття, в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛ Т15К6, потім, з метою зниження шорсткості поверхні, проводять поверхневе пластичне деформування шляхом обкатки кулькою (ОК) і для збільшення суцільності покриття, на його поверхню наносять металополімерний матеріал (МПМ), який армований порошком твердого сплаву

ВК6. Після полімеризації МПМ поверхню посадкової шийки проточують, або шліфують в заданий розмір.

Технологія реновації зношених бабітових поверхонь вкладишів підшипників ковзання полягає в наступному. Ділянка бабітового покриття в місцях зносу підлягає видаленню до сталльної поверхні. Потім на неї методом ЕІЛ наносять перехідний шар з міді і далі цим же методом, при використанні бабітового електроду-інструменту, формують бабітове покриття, яке в заключних операціях, з метою зменшення шорсткості поверхні, оброблюють графітовим електродом-інструментом і полірують.

Технологічні рекомендації згідно покращення поверхневих шарів деталей пружних муфт (ПМ) від Ф-К полягають в нанесенні на поверхні гнучких елементів (ГЕ) металоплакувальних мастильних матеріалів (МММ), які складаються з парафіну, порошоків міді, дисульфиду молібдену та графіту. Після цього ГЕ за допомогою кріпильних деталей збираються в пакети і скріплюються ними з проставкою і півмуфтою. Перед зборкою кріпильні деталі оброблюються в е розчині, який епіламірує, що підвищує їх зносостійкість проти Ф-К ~ на 50%. Використання технологічних рекомендацій по захисту деталей ПМ від Ф-К дозволяє використовувати їх в насосних агрегатах, задіяних в системах зрошення. Крім цього в роботі запропоновано заміну штатних щілинних і сальникових ущільнень на ущільнення з магніторідинними герметизаторами, які забезпечують майже 100% герметичності і перевага яких доведена проведеними статистичними дослідженнями.

Отриманні в роботі технологічні рішення, захищені 11 патентами і впроваджені на Комунальному підприємстві «Міськводоканал» Сумської міської ради; ПАТ «Сумхімпром» та ТОВ «ТРІЗ ЛТД», м. Суми з загальним очікуваним економічним ефектом 856000 (вісімсот п'ятдесят шість тисяч) гривен (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Промислове впровадження розроблених технологій підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення

Підприємство	Технологія покращення поверхні відповідальних деталей	Виріб	№ патенту України на корисну модель	Економічний ефект, тис. грн
ТОВ «ТРІЗ ЛТД».	Реновація бабітового шару ПК.	Вкладиш підшипника ковзання		214
КП «Міськводоканал» Сумської міської ради.	Нанесення МММ на поверхні ГЕ. Епіламування кріпильних деталей.	Пружна муфта	151426 142811	267
ПАТ «Сумхімпром».	ЦЕІЛ сталейних поверхонь ПШ → БУФО. Нанесення методом ЕІЛ на поверхні ПШ сульфомолібденових покриттів → БУФО. Нанесення методом ЕІЛ на посадочні поверхні ШВ покритть складу Al-C-B → БУФО.	Вал ротора відцентрового насоса	142822 144932 148495	375

Розробки, які виконані в дисертаційній роботі, впроваджені в навчальний процес кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Матеріалознавство і ТКМ», «Технологія машинобудування в галузі» і «Триботехнологія, а також кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського Сумського державного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Трибомеханіка та основи контактної механіки» і «Конструкції та розрахунок підшипників ковзання» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг в механіці».

5.5. Висновки:

1. Розроблений новий спосіб нітроцементації, який є одночасною дією процесу ЦЕІЛ з $W_p = 0,10-6,80$ Дж і подачею азоту в зону легування. За рахунок покращення параметрів якості поверхневих шарів запропонований спосіб перевищує аналоги.

2. Розроблена нова технологія нанесення КЕП на зруйновані поверхневі шари валів ВН, при якій можливо проводити їх реновацію до 1,50 мм, суцільністю до 100 %, мікротвердістю до 10100 МПа і $Ra=1,20$ мкм (патенти України на корисну модель № 141919 і 141920).

3. В результаті проведених експериментів розроблені фізично обґрунтовані математичні моделі (рівняння масопереносу і визначення шорсткості), які пов'язують енергетичні режими обладнання ЕІЛ і параметри якості відновленого бабітового шару: збільшення ваги і товщини катоду, відповідно, ΔR_k і Δh_c , а також його шорсткість ΔR_z , а також розроблений алгоритм визначення констант цих рівнянь.

4. Встановлено, що основною причиною виходу з ладу електродвигунів обумовлено ушкодженнями підшипникових вузлів, а відмов підшипників є незадовільна робота традиційних ущільнень, які не забезпечують 100% герметичності. В агропромисловому комплексі запропоновано використання нового типу ущільнень - магніторідинних герметизаторів, які добре зарекомендували себе у нафтопереробній та хімічних галузях.

5. Порівняльними дослідженнями стійкості ГЕ пружних муфт, з'єднаних за новою технологією, встановлено, що при використанні МММ знос від Ф-К стає меншим на 50 %. Також використання епіламу при обробці болтів, гайок і шайб ПМ дозволяє знизити коефіцієнт тертя в 2-3 рази і, таким чином, зменшити знос від фреттинг-корозії (патенти України на корисну модель №151426 і 142811). Таким чином, з'являються підстави для модернізації НА, шляхом впровадження ПМ в їх конструкцію.

6. Розроблені в дійсній роботі технологічні рішення, що використовуються екологічно і техногенно безпечними методами, впроваджені на Комунальному підприємстві «Міськводоканал» Сумської міської ради, м. Суми ПАТ «Сумхімпром», м. Суми та ТОВ «ТРІЗ ЛТД» м. Суми з загальним очікуваним економічним ефектом 856000 (вісімсот п'ятдесят шість тисяч) гривен.

7. По матеріалам розділу опубліковані наступні роботи [111, 114, 122, 124-126, 128 131, 132].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Аналіз сучасного стану інженерної інфраструктури системи зрошувального землеробства в південних регіонах України виявив безліч значних недоліків, пов'язаних з недостатнім розумінням ролі технічної підсистеми, проблемами з кадровим персоналом, некомпетентною експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом устаткування, які в результаті стримують використання екологічно безпечних і ресурсозберігаючих технологій без яких неможливо отримувати високорентабельну продукцію з низькою собівартістю. Результатом, представлених в роботі досліджень, стала низка комбінованих екологічно безпечних технологій, застосовування яких дає можливість усунути означені вище недоліки і провести модернізації обладнання зрошувальних систем.

2. Для забезпечення стабільної і безаварійної роботи НА, які використовують при зрошенні, удосконалена технологія забезпечення необхідних параметрів якості підшипникових і посадкових шийок валів ВН, що досягається за рахунок використання екологічно безпечних методів ЕІЛ, ППД і нанесення МПМ. Так, для підшипникових шийок валів роторів ВН запропоновані нові способи цементації і нанесення сульфомолібденових покриттів (*патенти України на корисну модель № 142822 і 144932*), використання яких крім зниження шорсткості поверхні з $Ra = 8,3$ до $3,2$ мкм, збільшення суцільності легованого шару з 80 до 100%, товщини «білого» шару з 60 до 230 мкм і його мікротвердості до 10796 МПа при цементації, при нанесенні сульфомолібденових покриттів забезпечує мікротвердість «білого» шару до 10731 МПа і наявність в поверхневому шарі до 5% дисульфиду молібдену. Для реновації зруйнованого шару шийок ПК запропонований екологічно безпечний спосіб нітроцементациї, використання якого забезпечує створення зміцненого шару до 150 мкм з мікротвердістю на поверхні до 10600 МПа і зменшення шорсткості, Ra до 0,6 мкм.

Для виготовлення посадкових шийок валів запропонований новий спосіб зміцнення їх поверхонь методом ЕІЛ, шляхом нанесення покриттів складу Al-C-B, а для їх реновації після зношування новий екологічно безпечний спосіб нанесення КЕП, товщина яких сягає більше 1,5 мм суцільність досягає 100 %, мікротвердість 10100 МПа і шорсткість $R_a=1,20$ мкм (*патенти України на корисну модель № 148495, 141919 і 141920*).

3. Виявлена кореляційна залежність зносу бабітових вкладишів ПК від роботи тертя, що дало можливість розробити математичну модель (рівняння зносу) при використанні якої можливо вирішувати, як пряму задачу – знаходити величину зносу бабітового покриття, нанесеного різними методами по відомій роботі тертя, так і зворотну – визначати необхідну роботу для зношування певної кількості бабітового покриття. Запропонована методика визначення констант рівняння зносу, які є певними критеріями при визначенні більш раціональної технології нанесення бабітових покриттів вкладишів ПК.

4. Удосконалена технологія реновації вкладишів бабітових ПК, шляхом встановлення кореляційної залежності між енергетичними режимами ЕІЛ і параметрами якості нанесених поверхневих бабітових шарів (товщиною, нанесеного шару бабіту та шорсткістю сформованого шару), що дозволило розробити математичні моделі (рівняння масопереносу та рівняння прогнозування параметрів шорсткості поверхневого шару) при використанні яких можливо вирішувати, як пряму задачу – по відомим параметрам товщини бабітового шару, необхідного для відновлення зношеної ділянки поверхні і його шорсткості визначати необхідні для цього енергетичні параметри обладнання ЕІЛ, так і зворотну – по відомим енергетичним параметрам обладнання ЕІЛ визначати параметри якості поверхневого бабітового шару (товщину і шорсткість), який буде сформований. Також запропонована методика визначення констант рівняння масопереносу та рівняння прогнозування параметрів шорсткості поверхневого шару, які є певними критеріями при визначенні більш раціональної технології відновлення зношених поверхонь бабітових покриттів вкладишів ПК.

5. Для можливості використання пружних муфт в НА, задіяних в зрошувальному землеробстві удосконалені технології захисту поверхонь їх деталей від Ф-К (*патенти України на корисну модель №151426 і 142811*). Так поверхні гнучких елементів покривають мастильним матеріалом в склад якого запропоновано додатково вводить порошок з графіту, що забезпечує до 50% зменшення їх зношування, а кріпильні деталі муфти обробляють в середовищі епіламу, що дозволяє до 3 раз зменшити коефіцієнт тертя і як результат знизити процес Ф-К.

6. Екологічно безпечні, енергоощадні комбіновані технології виготовлення та реновації деталей НА зрошувального землеробства, захищені 11 патентами України і впроваджені у виробництво з очікуваним економічним ефектом 856 тис. грн.

Список використаних джерел:

1. Дунайське басейнове управління водних ресурсів. Протоколи засідання Міжвідомчої комісії по встановленню режиму роботи Придунайських водосховищ за 2007–2012 рр.
2. Гідротехнічні споруди. Підручник для вузів [Текст] / За редакцією А.Ф. Дмитрієва. Вид-во Рівненського державного технічного університету, 1999 р.- 328с.
3. Тригуб В. Географічні особливості вмісту фтору в природних водах північно-західного Причорномор'я / Вісник Львів. ун-ту. Серія географічна. 2006. Вип. 33. С. 405–411
4. Лозовіцький П.С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів [Текст] / П.С. Лозовіцький / К. «Київський університет» Вид 2-е. 2010. – 276 с
5. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підручник / Київ. «Ніка-Центр». 2001. 262 с.
6. Болотських О.С., Бондаренко Г.П., Скляревський М.О. та ін. Операційна технологія виробництва овочів / За ред. О.С. Болотських. - К.: Урожай, 1988. - 344 с.
7. Білоножка М.А., Шевченко В.П., Алімов Д.М. та ін. Рослинництво. Інтенсивна технологія вирощування польових і кормових культур / За ред. М.А. Білоножка. - К.: Вища школа, 1990. - 292 с.
8. Войтюк Д.Г. Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини / За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища школа, 2004. - 544 с.
9. Беседа О.О. Сільськогосподарські машини. Частина І. Ґрунтообробні, посівні та садильні машини: навч. посіб. для студ. спец. «Професійна освіта» напряму підготовки «Технологія виробництва і переробка продуктів сільського господарства» усіх форм навчання / О.О. Беседа, С.В. Маслійов; Держ. закл. «Луган. нац. ун-т імені Тараса Шевченка». – Луганськ: ТОВ «Віртуальна реальність», 2014. – 188 с.
10. Гевко Р.Б. Машини сільськогосподарського виробництва / Гевко Р.Б.,

Ткаченко І.Г., Павх І.І. // – Тернопіль, 2005. – 228 с.

11. Головчук А.Ф., Лімонт А.С., Бондаренко М.Г. Машиновикористання та екологія довкілля: Підручник / За ред. А.Ф.Головчука. - К.: Грамота, 2007. - С. 360:іл. - Бібліогр.: с. 354.

12. Кошук О.Б. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А., Герлянд Т.М., Романов Л. А. – К. : ІПТО НАПН України, 2015. – 291 с.

13. Ковальський В. Система зрошувального землеробства в Україні: проблеми, вартість та шляхи вирішення [Електронний ресурс] // Landlord. – Режим доступу: <https://landlord.ua/news/systema-zroshuvalnoho-zemlerobstva-v-ukraini-problemy-vartist-ta-shliakhy-vyrishennia/>.

14. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 688-р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text>.

15. Меліорація та зрошення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/ua/tag/zroshennya>.

16. Трягобчук В.І. Інноваційно-інвестиційний розвиток національного АПК: проблеми, напрями, механізми / Економіка України. - 2006. - № 2. - С. 4-12.

17. Зрошення та меліорацію в законі 5202-д – що принесе ринку створення об'єднання водокористувачів та стимулювання гідротехнічної меліорації земель [Електронний ресурс] // AgroPolit.com – Режим доступу: <https://agropolit.com/spetsproekty/906-zroshennya-ta-melioratsiyu-v-zakoni-5202-d--scho-prinese-rinku-stvorenniya-obyednannya-vodokoristuvachiv-ta-stimulyuvannya-gidrotehnichnoyi-melioratsiyi-zemel>.

18. Пришляк В.М., Ковальчук О.В., Яропуд В.М. Робочі процеси сільськогосподарських машин. Машини для обробітку ґрунту, посіву, догляду за рослинами. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізації «Машини та

обладнання сільськогосподарського виробництва» денної форми навчання. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 76 с.

19. Зміна клімату, що привела до посух вимагає від нас діяти. [Електронний ресурс] // Tegra Grow – Режим доступу: <https://www.facebook.com/tegragrow>.

20. Гарькавий А.Д., Середа Л.П., Кондратюк. Машиновикористання у рослинництві: Навч. посібн. - Вінниця. ВДАУ, 2007. - 48 с.

21. Зрошення сільськогосподарських культур дощуванням. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Основи гідромеліорацій” для студентів 3 курсу спеціальності 194 "Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології" денної та заочної форми навчання / Кузьменко В.Д., Волочнюк Є.Г. – Херсон: ВВ ХДАУ, 2019. – 76 с.

22. Кошук О.Б. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А., Герлянд Т.М., Романов Л. А. – К. : ІПТО НАПН України, 2015. – 291 с.

23. Сенченко І.О. Насоси для системи зрошення - види, переваги[Електронний ресурс] // Stroytechnology.net – будівельні технології – Режим доступу: <http://stroytechnology.net/budivelni-roboty/485-nasosy-dlasustemy-zrochena.html>.

24. ПрАТ "Епос" – насоси та насосне обладнання // ПрАТ "Епос" – Режим доступу: <https://pratepos.com.ua/>.

25. ДСТУ 3012-95. Підшипники кочення та ковзання. Терміни та визначення. чинний від 1996-01-01. Офіц.вид. К. : Держстандарт України, 1995. 75 с.

26. Деталі машин. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи «Вивчення конструкцій підшипників кочення» для студентів напрямів підготовки, 6.050502 Інженерна механіка, 6.070106 Автомобільний транспорт. – Автори: К.А. Зіборов, та інші. – Д.: ДНВЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 32 с.

27. Екологічна безпека експлуатації компресорного і насосного обладнання : монографія / В. А. Марцинковський, В. Б. Тарельник,

Б. Антошевський та ін. ; за ред. О. В. Радіонова. Суми : Сумський державний університет, 2018. 282 с.

28. Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С., Антошевський Богдан. Триботехнологія деталей машин: Навчальний посібник. - Суми: Видавництво : «МакДен», 2010. – 260 с.

29. Підшипники ковзання. Навчальний наочний посібник [Електронний ресурс]: для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» уклад.: А. К. Скуратовський . – Електронні текстові данні 1 файл: 10,7 МБ – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 38 с.

30. Підвищення зносостійкості плунжерних пар паливних насосів. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022, 41 с.

31. О.В. Паневник. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на зношування елементів свердловинних струминних насосів /Паневник О.В., Паневник Д.О.// Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу «Молодий вчений» - № 11 (63) листопад, 2018 р. С.377-381.

32. Пашечко М.І., Кондир А.І., Богун Л.І. Механізми утворення оксидів на контактних поверхнях під час тертя матеріалів, що містять залізо та бор.// Проблеми трибології. -№2. -2003. -С. 139-143.

33. Paszeczko M., Lenik K., Czerniec M., Gorecki T.: Konstytuowanie warstwy wierzchniej z wykorzystaniem kompozytów eutektycznych układu Fe-Mn-C-B-Si, Inż. Powierzchni, nr 2/2001

34. Кондрачук М. В. Трибологія / М. В. Кондрачук, В. Ф. Хабутель М. І., Пашечко Є. В. Корбут. — К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. — 232 с.

35. Закалов О. В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. /О. Закалов, І. Закалов. — Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. — 322 с.

36. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин: Навчальний посібник / За ред. Попова В. С. — Запоріжжя: Мотор Січ, 2006 — 420 с.

37. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 148005 України на корисну модель, МПК (2021.01), В23Н 1/00, В23Н 5/00, F16С 33/04 (2006.01) С23С 8/00 С23С 4/00 С23С 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25. 12 с.

38. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 148006 України на корисну модель, МПК (2021.01), В23Н 1/00, В23Н 5/00, F16С 33/04 (2006.01) С23С 8/00 С23С 4/00 С23С 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25. 12 с.

39. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання (варіанти) Пат. 126517 України на винахід, МПК В23Н 1/06 (2006.01), В23Н 5/02 (2006.01), F16С 33/04 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Антошевський Б., Роп'як Л. Я., Саржанов О. А., Тарельник Н. В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Поливаний А. Д. ; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 19.10.2022, Бюл. № 42, 12с.

40. Paszczko, P. Skalski, K. Lenik. Analiza zmian momentu i współczynnika tarcia poprzez wykorzystanie pomiaru wielkości elektrycznych. – Tribologia. – N o 5. – 2004, S. 205-212.

41. Чернець М. В., Пашечко М. І., Невчас А. Методи прогнозування та підвищення зносостійкості триботехнічних систем ковзання. Зт. — Дрогобич, Коло, 2001. — 512 с.

42. Севост'янов І. В. Експлуатація та обслуговування машин. Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 88 с.
43. Кавітація електронасоса і способи усунення // ТОВ «ВАРНА» Електронасоси та насосне обладнання – Режим доступу: <https://waterpump.com.ua/blog/faq/cataca-of-electronicos-i-can-usunennya>
44. Ремонт тепловозних і теплохідних розпилювачів форсунок // Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1061832522-remont-teplovoznyh-teplohodnyh.html>
45. Клик А. В. Обґрунтування кавітаційного зносу енергосистем / Клик А. В., Журавель Д. П. // Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» м. Мелітополь, Україна С. 488-492.
46. Сухенко Ю. Г., Паламарчук І. П., Жеплінська М. М., Муштрук М. М., Журавель Д. П. Надійність обладнання харчової галузі. Навчальний посібник. К. ЦП «КомпрІнт», 2019. 370 с.
47. Журавель Д. П. Триботехніка. Курс лекцій з навчальної дисципліни. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 280 с.
48. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Антошевский Б. Сучасні методи формоутворення поверхонь тертя деталей машин: Монографія. - Суми: Видавництво „МакДен”: 2012.- 280 с/
49. Журавель Д. П. Триботехніка. Посібник до лабораторно-практичних робіт. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 136 с.
50. Дідур В. А., Савченко О. Д., Журавель Д. П., Мовчан С. І. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі. К.: Аграрна освіта, 2008. 577 с.
51. Дідур В. А., Журавель Д. П., Палішкін М. А. та ін. Гідравліка. Підручник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 624 с.
52. Богданович В. С. Результати аналізу застосування насосного обладнання в системах водозабезпечення / В.С. Богданович // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. — 2012. — № 4. — С. 18- 22.
53. Мілтих В. С. Вплив ширини каналу робочого колеса на крутизну

напірної характеристики при проектуванні змінних коліс насосів типу Д / В.С. Мілтих, М.І. Сотник, С.О. Лугова// Журнал інженерних наук. — 2016. — №1. — Том 3. — С. 81-88.

54. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. — Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. — 322 с.

55. Кондрачук, М.В. Трибологія / М.В. Кондрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. — К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. — 232 с.

56. John Crane. Power Transmission Couplings. TLK Membrane Coupling for High Power Applications in the Process Industry. www.johncrane.co.uk. John Crane. Power Transmission Couplings. M Series Membrane Coupling for the Oil & Gas. www.johncrane.co.uk.

57. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Братущак М.П. Проблеми захисту гнучких муфт турбокомпресорів від фретинг-корозії. Вісник СНАУ. — Випуск 12, 2005. С. 231-240.

58. Martsynkovskyy V., Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Dumanchuk M. (2020) Technology Support for Protecting Contacting Surfaces of Half-Coupling—Shaft Press Joints Against Fretting Wear. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_22

59. Umanskyi O., Storozhenko M., Antonov M., Terentjev O. et al. Key Eng. Mater. 2019, 604, 16–19. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.799.37

57. Storozhenko M.S., Umanskii A.P., Terentiev A.E., Zakiev I.M. Powder Metall Met Ceram. 2017, 56(1–2), 60–69. doi: 10.1007/s11106-017-9847-y

60. Maksakova O., Simoës S., Pogrebnyak A., Bondar O. et al. Mater Charact. 2018, 140, 189–196.

61. Pogrebnyak A.D., Beresnev V.M., Smyrnova K.V., Kravchenko Ya.O. et al. Mater Lett. 2018, 211, 316–318.

62. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. К.: Либідь, 2002. — 328с.
63. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та діляниць: Навчальний посібник. — Суми: Вид-во СумДУ, 2008. — 212 с.
64. W.A. Livesey, A. Robinson (2010). The Repair of Vehicle Bodies. ISBN-10: 0750667532.
65. В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.І. Венжега. Відновлення деталей автомобілів: Навчальний посібник.— Чернігів: ЧНТУ, 2013. — 192с.
66. James E. Duffu (2011). Auto Body Repair Technology. ISBN-10: 0750667532
67. Екологічна безпека та економіка: монографія / М. І. Сокур, В. М. Шмандій, Є. К. Бабець, В. С. Білецький, І. Є. Мельнікова, О. В. Харламова, Л. С. Шелудченко. — Кременчук, ПП Щербатих О. В., 2020— 240 с.
68. Ю. С. Шемшученко. Екологічна безпека // Юридична енциклопедія: [у 6 т.] / ред. Ю. С. Шемшученко — К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1998. -Т. 1 : 672 с.
69. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. —К.: Вища школа, 2007. —527с.
70. Екологічна безпека // Словник-довідник з екології: навч.-метод. посіб. /уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. -Херсон : Вишемирський В. С., 2013. - С. 75.
71. Лук'яненко Г.О. Проблеми охорони праці в Україні. 2015, (30), 81–90.
72. Хилько М. І. Екологічна безпека України: Навчальний посібник / М. І. Хилько. — К., 2017.
73. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Є.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. — К.: Знання, 2007. — 367 с.
74. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб. — Суми: Університетська книга, 2011. — 557 с.

75. Скуріхін В. І. Конструкційні матеріали : конспект лекцій для студентів за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / В. І. Скуріхін, О. Ф. Бабічева; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 61 с.

76. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с.

77. Чередніков О.М. Технологічні основи ремонту машин і відновлення деталей: Навчальний посібник.– Чернігів:ЧДТУ, 2008. – 212с.

78. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. К. Техніка, 2002. – с. 374.

79. Лузан С.О. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей. Курс лекцій / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, С.О. Лузан. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 127 с.

80. George E. Totten. Handbook of Hydraulic Fluid Technology, Second Edition / George E. Totten, Victor J. De Negri. – CRC Press, 2011. – 982 p.

81. Тарельник В.Б. Аналіз технологій нанесення антифрикційних покриттів підшипників ковзання / В.Б.Тарельник, О.В.Дзюба. - Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.- Випуск 134.-2013.- С. 244-251.

82. V. Martsinkovsky, V. Yurko, V. Tarelnik, Yu. Filonenko (2012) Designing Radial Sliding Bearing Equipped with Hydrostatically Suspended Pads, *Procedia Engineering*, Volume 39, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.020>.

83. Марцинковський В.С., Тарельник В.Б. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання. UA пат. 92814 МПК B23H1/00. 2010. Бюл. № 23. 3 с.

84. Tarelnyk, V.B., Gaponova, O.P., Konoplianchenko, Ye.V., Martsynkovskyy, V.S., Tarelnyk, N.V., Vasylenko, O.O. Improvement of quality of the surface electroerosive alloyed layers by the combined coatings and the surface plastic deformation. I. Features of formation of the combined electroerosive coatings

on special steels and alloys, (2019) *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 41 (1), pp. 47-69. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0047>

85. Tarel'nik, V.B., Paustovskii, A.V., Tkachenko, Y.G., Martsinkovskii, V.S., Konoplyanchenko, E.V., Antoshevskii, K. Electric-spark coatings on a steel base and contact surface for optimizing the working characteristics of babbitt friction bearings (2017) *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 53 (3), pp. 285-294. <https://doi.org/10.3103/S1068375517030140>

86. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання Пат. 105965 UA, МПК F16C 33/04 (2006.01), В23Н 1/00, В23Н 5/00 / Марцинковський В. С., Тарельник В. Б., Дзюба О. В. ; заявл. 18.12.2012 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13, 2014.

87. Тарельник, В., Соларьов, О., Тарельник, Н. і Волошко, Т. (2021) «Зниження інтенсивності автомобільних перевезень в системі технічного обслуговування й ремонту машин агропромислового комплексу», *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*, (3(21), с. 21-31. doi: 10.37700/enm.2021.3(21).21-31.

88. Tarel'nyk V.B., Gaponova O.P., Konoplyanchenko Ye.V., Dovzhyk M.Ya. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2016, 38(12), 1611–1633. <https://doi.org/10.15407/mfint.38.12.1611>

89. Tarel'nyk V.B., Gaponova O.P., Konoplianchenko I.V., Dovzhyk M.Ya. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2017, 39(3), 363–385. <https://doi.org/10.15407/mfint.39.03.0363>

90. Tarel'nyk V.B., Gaponova O.P., Konoplianchenko I.V., Herasymenko V.A. et al. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2018, 40(2), 235–254. <https://doi.org/10.15407/mfint.40.02.0235>

91. Mikhailov V.V., Bachu K.A., Pasinkovskii Ye.A., Peretyatku P.V. *EOM*. 2006, (3), 106–111.

92. Gitlevich A.E., Mihaylov V.V., Parkanskiy N.Ya., Revutskiy V.M. *Elektroiskrovoe legirovanie metallicheskih poverhnostey*. Kishinev: Shtiintsa, 1985. 196 s.

93. Mihaylov V.V., Gitlevich A.E., Verhoturov A.D., Mihaylyuk A.I. i dr. EOM. 2013, 49(5), 21–44.

94. Бабенко Д. В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д. В. Бабенко, О. А. Горбенко, Н. А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.

95. Verhoturov A.D., Podchernyaeva I.A., Kirilenko S.V. EOM. 1986, (1), 28-31

96. V. B. Tarel'nik, A. V. Paustovskii, Yu. G. Tkachenko, V. S. Martsinkovskii, A. V. Belous, E. V. Konoplyanchenko, O. P. Gaponova, *SurfaceEngineeringandAppliedElectrochemistry*, **54**: 147 (2018).

97. V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, Ye. V. Konoplianchenko, V. S. Martsynkovskyy, N. V. Tarelnyk, O. O. Vasylenko, *Metallofiz. NoveishieTekhnol.*, **41**, No. 1: 47 (2019). <https://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0047>

98. Quality Analysis of Aluminized Surface Layers Produced by Electrospark Deposition / G. V. Kirik, O. P. Gaponova, V. B. Tarelnyk et al. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2018. Vol. 56, Issue 11–12. P. 688–696. URL: <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9944-6>

99. Umanskii A. P., Storozhenko M. S., Akopyan V. V., Martsenyuk I. S. Elektroiskrovoye uprochnenie stali kompozitsionnymi materialami sistemi TiB₂–(Fe–Mo). *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2012. № 9 (96). S. 214–219.

100. Umanskyi O., Hussainova I., Storozhenko M., Terentjev O., Antonov M. Effect of speed on sliding wear behavior of NiCrSiB–TiB₂ plasma sprayed coatings. The 22th International Baltic Conference of Engineering Materials&Tribology: Abstract book (Riga, November 14–15, 2013). Riga, 2013. P. 17.

101. Лузан С.О. Класифікація типових модульних сполучень деталей засобів транспорту / С.О. Лузан // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: 2014. – Вип. 151. – С. 101-107

102. Luzan S.A. Gazotermicheskoye napilenie pokritii [Tekst]: Monografiya. / S.A. Luzan – Kharkov: Izdatelstvo "NTMT", 2009. – 134 s.

103. Tarel'nik V.B., Martsinkovskii V.S., Zhukov A.N. *Chem Pet Eng*. 2017,

53, 114–120. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0305-y>

104. Antoszewski B., Tarelnyk V., Antoszewski. Appl Mechan Mater. 2014, 630, 301–307. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.301>

105. Mikhailyuk A.I., Rapoport L.S., Gitlevich A.E. EOM. 1991, (1), 16–19.

106. Mikhailyuk A.I., Rapoport L.S., Gitlevich A.E. EOM. 1991, (2), 17–20.

107. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Konoplianchenko Ye.V., Martsynkovskyy V.S. et al. Metallofiz. Noveishie Tekhnol. 2019, 41(1), 47–69. doi: <https://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0047>

108. Tarel'nik V.B., Konoplyanchenko E.V., Kosenko P.V., Martsinkovskii V.S. Chem Petrol Eng. 2017, 53(7–8), 540–546. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0378-7>.

109. Tarelnyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., et al. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2017, 233, 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/233/1/012050>.

110. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Loboda V.B., Konoplyanchenko E.V., Martsinkovskii V.S., Semirnenko Y.I., Tarelnyk N.V., Mikulina M.A., Sarzhanov B.A. Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying, Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 57(2), pp. 173–184, (2021).

111. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях : пат. 142338 України на корисну модель, МПК (2020.01), В23Н 5/00, В23Н 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 11.01.2020 ; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10. 10 с.

112. Новаковський С. Ю. Електроіскрова обробка поверхонь тертя як засіб підвищення ресурсу деталей машин / С. Ю. Новаковський , Є. В. Калганков // Інтеграція світових наукових процесів як основа суспільного прогресу: Матер. II

міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–24 листопада 2018 р.) / ГО «Інститут інноваційної освіти»; Науково-учбовий центр прикладної інформатики НАН України. – Київ : ГО «Інститут інноваційної освіти», 2019 . – С. 204-208.

113. Іщенко О. В. Поліпшення споживчих властивостей полімерних матеріалів / О. В. Іщенко, І. О. Ляшок, А. А. Стрілець, А. О. Пронін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія : Технічні науки. - 2016. - № 3. - С. 179-184. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vknutdtn_2016_3_25.

114. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти): Пат. 104664. Україна. МПК В23Н 5/00 /Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Іщенко А.О.; Опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.-3 с.

115. Захаров, Ю. А. Аналіз способів відновлення посадкових отворів корпусних деталей машин / Ю. А. Захаров, Є. Г. Рілякін, А. В. Лахна. - Текст: безпосередній // Молодий учений. - 2014. - № 16 (75). - С. 68-71.

116. Голубєв, І. Г. Моніторинг технологічних процесів відновлення деталей [Текст] / І. Г. Голубєв, В. В. Биков, А. Н. Батищев, В. В. Серебровський, І. А. Спіцин, Ю. А. Захаров // Технічний сервіс у лісовому комплексі / Сб. матеріалів. наук.-практ. конф. - Москва: МГУЛ, 2000. - С.31.

117. Зубарєв, П. А. Виробничий процес отримання захисних поліуретанових покриттів [Текст]/П. А. Зубарєв, А. В. Лахно, Є. Г. Рілякін // Молодий учений. - 2014. - № 5. - С. 57-59.

118. Лахно, А. В. Відновлення деталей машин із полімерних матеріалів [Текст] / А. В. Лахно, Є. Г. Рілякін // Молодий учений. - 2014. - № 8. - С. 196-199.

119. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.

120. Awasthi, K. Synthesis of carbon nanotubes [Text] / K. Awasthi, O. Srivastava // J. Nanosci. Nanotechnol. – 2005. – Vol. 5. – N. 10. – P. 1616-1636.

121. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Павлов О.Г., Саржанов Б.О. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей. пат. 117980 Україна (на 20 р.). № а201703450; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл.№ 20.

122. Формування покриттів триботехнічного призначення комбінованою лазеро-хімікотермічною обробкою / А. О. Корнієнко, М. С. Яхья, Н. В. Іщук та ін. Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. Київ: НАУ, 2008. Вип. 49. Т. 2. С. 61–65.

123. Патент на корисну модель №40858 Україна, МПК В23Н 1/00. Спосіб електроіскрового зміцнення поверхні металів та сплавів/ Маковей В. О., Бородій Ю. П., Куріхін В. С. (Україна) НТУУ. – № u2008 13977 Заявл. 04.12.2008; Опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.

124. Ремонт автомобілів: навчальний посібник /упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.

125. Когут М.С. Тріщиностійкість конструкційних матеріалів та їх зварних з'єднань із наплавками: монографія / М.С. Когут, Н.М. Лебідь. – Львів : Львівський національний аграрний університет, 2008. – 287 с.

126. Пирогов В.О. Проблеми підвищення якості машин, задіяних в технологічному циклі зрошення / В.О. Пирогов // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції (м. Суми, 29 вересня – 1 жовтня 2021 року) / С. 75-78.

127. Тарельник В.Б., Думанчук М.Ю., Тарельник Н.В., Волошко Т.П., Пирогов В.О. Реновація шийок підшипників ковзання валів відцентрових насосів для зрошення // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. - № 1(47). – 2022. – С.43-49. DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.7>

128. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: Курс лекцій. – Тернопіль: Економічна думка, 2005. – 124 с.

129 Ступницький В. В. Структурно-параметрична оптимізація технологічних процесів при забезпеченні експлуатаційних властивостей деталей

/ В. В. Ступницький // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2014. – № 2/3(68). – С. 9–16.

130. Тарельник В.Б., Пирогов В.О. Критерії вибору технології нанесення бабітових покриттів підшипників ковзання роторних машин / В.Б. Тарельник, В.О. Пирогов // Матеріалознавство та технології. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Харків : ХНАДУ, 2022. – С.61-70.

131. V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, Ie. V. Konoplianchenko, N. V. Tarelnyk, M. Y. Dumanchuk, M. O. Mikulina, V. O. Pirogov, S. O. Gorovoy, and N. K. Medvedchuk, Development the Directed Choice System of the Most Efficient Technology for Improv-ing the Sliding Bearings Babbitt Covers Quality. Pt. 1. Peculiarities of Babbitt Coat-ing Technologies, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 44, No. 11: 1475–1493 (2022) (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/mfint.44.11.1475>

132. V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, Ie. V. Konoplianchenko, N. V. Tarelnyk, M. Y. Dumanchuk, V. O. Pirogov, T. P. Voloshko, and D. B. Hlushkova, Development the Directed Choice System of the Most Efficient Technology for Improving the Sliding Bearings Babbitt Covers Quality. Pt. 2. Mathematical Model of Babbitt Coatings Wear. Criteria for Choosing the Babbitt Coating Formation Technology, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 44, No. 12: 1643–1659 (2022) (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.44.12.164

133. Technology support for protecting contacting surfaces of half-coupling – Shaft press joints against fretting wear / V. Martsynkovskyy, V. Tarelnyk, Ye. Konoplianchenko, O. Gaponova, M. Dumanchuk. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, 2020. P. 216–225.

134. Пирогов В.О. Модернізація приводу насосних станцій трубопроводів // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу - 2022. - №73. – С. 50-56. DOI:10.31471/1993-9965-2022-1(52)-50-56.

135. Тарельник В.Б., Пирогов В.О. Підвищення довговічності валів відцентрових насосів комбінованими методами // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. зб.

наук.пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 2 (6) 2022. – С. 79–87. DOI: 10.20998/2079-004X.2022.2(6).11.

136. Думанчук М.Ю., Тарельник Н.В., Пирогов В.О. Вдосконалення технологічних методів захисту гнучких елементів пружних муфт від фреттинг-корозії // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк. - 2022. - №73. – С. 149-156. DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.22

137. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей : пат. 141919 України на корисну модель, МПК (2020.01) B23H 5/00, B23H 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 27.12.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. 8 с.

138. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей : пат. 141920 України на корисну модель, МПК (2020.01) B23H 5/00, B23H 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 27.12.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. 9 с.

139. Спосіб цементації сталевих деталей електроіскровим легуванням : пат. 142822 України на корисну модель, МПК (2020.01) C23C 8/00, C23C 28/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О. М., Пирогов В. О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д. ; заявл. 11.02.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 8 с.

140. Спосіб захисту деталей пари тертя пружної муфти від фреттинг-корозії: пат. 142811 України на корисну модель : МПК (2020.01), C23F 15/00, F01D 5/28 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Думанчук М. Ю., Коноплянченко Є. В., Гапонова О. П., Тарельник Н. В., Пирогов В. О., Гапон О. О. ; заявл. 05.02.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 8 с.

141. Спосіб формування покриття на поверхні сталеві деталі методом електроіскрового легування : пат. 144932 України на корисну модель, МПК (2020.01), B23H 1/00, B23H 9/00, C23C 4/00, C23C 6/00, C23C 8/60 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О. М.,

Пирогов В. О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д. ; заявл. 26.02.2020 ; опубл. 10.11.2020, Бюл. № 21. 15 с.

142. Спосіб зміцнення поверхонь сталевих деталей пар тертя: пат. 148495 України на корисну модель, МПК (2021.01) B23H 1/00 B23H 7/00 C23C 10/48 (2006.01) C23C 8/70 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О.М., Коноплянченко Є.В. Тарельник Н.В., Саржанов О.А., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д., Зенкін М.А., Волошко Т.П. ; заявл. 23.04.2021 ; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 32. 11 с.

143. Пирогов В.О. Забезпечення протидії фреттинг-корозії деталей пар тертя / В.О. Пирогов // ТЕХНОЛОГІЇ ХХІ СТОРІЧЧЯ. Збірник тез за матеріалами 27-ої міжнародної науково-практичної конференції (24-26 листопада 2021 р.) Частина 1 «Прогресивні технології в промисловості» Суми – 2021.- С. 236-237.

144. Іє. Konoplianchenko, V. Tarelnyk, Vas. Martsynkovskyuy, O. Gaponova, A. Lazarenko, A. Sarzhanov, M. Mikulina, Zh. Zhengchuan, V. Pirogov. New technology for restoring Babbitt coatings. Journal of Physics: Conference Series. 1741 (2021) pp. 012040-1 – 012040-15. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012040>

145. Спосіб формування пакетів гнучких елементів пружних муфт: пат. 151426 України на корисну модель : МПК (2022.01) F16D 3/56 (2006.01) C10M 103/02 (2006.01) C10M 111/00 / Марцинковський В. С., Думанчук М. Ю., Тарельник Н. В., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д.; заявл. 25.01.2022; 20.07.2022, Бюл.№ 29. 8 с.

Додатки

ДОДАТОК А

**Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації**

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Пирогов В.О. Модернізація приводу насосних станцій трубопроводів // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу - 2022. - №73. – С. 50-56. DOI:10.31471/1993-9965-2022-1(52)-50-56

2. Тарельник В.Б. Підвищення довговічності валів відцентрових насосів комбінованими методами / В.Б. Тарельник, В.О. Пирогов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: зб. наук.пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 2 (6) 2022. – С. 79–87. – ISSN 2079-004X, DOI: 10.20998/2079-004X.2022.2(6).11.

3. Тарельник В.Б. Реновація шийок підшипників ковзання валів відцентрових насосів для зрошення / В.Б. Тарельник, М.Ю. Думанчук, Н.В. Тарельник, Т.П. Волошко, В.О. Пирогов // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів. - № 1(47). – 2022. – С.43-49.

4. Думанчук М.Ю., Тарельник Н.В., Пирогов В.О. Вдосконалення технологічних методів захисту гнучких елементів пружних муфт від фретинг-корозії // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк. - 2022. - №73. – С. 149-156.

5. Тарельник В.Б., Пирогов В.О. Підвищення довговічності насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення, комбінованими екологічно безпечними технологічними методами // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів – №2(48) – 2022. С. 66-75.

6. V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, Ie. V. Konoplianchenko, N. V. Tarelnyk, M. Y. Dumanchuk, M. O. Mikulina, V. O. Pirogov, S. O. Gorovoy, and N. K. Medvedchuk, Development the Directed Choice System of the Most Efficient Technology for Improving the Sliding Bearings Babbitt Covers Quality. Pt. 1. Peculiarities of Babbitt Coating Technologies, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 44, No. 1:1475–1493 (2022) (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/mfint.44.11.1475>

7. V. B. Tarelnyk, O. P. Gaponova, Ie. V. Konoplianchenko, N. V. Tarelnyk, M. Y. Dumanchuk, V. O. Pirogov, T. P. Voloshko, and D. B. Hlushkova, Development the Directed Choice System of the Most Efficient Technology for Improving the Sliding Bearings Babbitt Covers Quality. Pt. 2. Mathematical Model of Babbitt Coatings Wear. Criteria for Choosing the Babbitt Coating Formation Technology, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 44, No. 12: 1643–1659 (2022) (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.44.12.164

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Ie. Konoplianchenko, V. Tarelnyk, Vas. Martsynkovskyy, O. Gaponova, A. Lazarenko, A. Sarzhanov, M. Mikulina, Zh. Zhengchuan, V. Pirogov. New technology for restoring Babbitt coatings. *Journal of Physics: Conference Series*. **1741** (2021) pp. 012040-1 – 012040-15. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012040> (SCOPUS & WoS)

9. Пирогов В.О. Забезпечення протидії фреттинг-корозії деталей пар тертя / В.О. Пирогов // ТЕХНОЛОГІЇ XXI СТОРІЧЧЯ. Збірник тез за матеріалами 27-ої міжнародної науково-практичної конференції (24-26 листопада 2021 р.) Частина 1 «Прогресивні технології в промисловості» Суми – 2021.- С. 236-237.

10. Пирогов В.О. Проблеми підвищення якості машин, задіяних в технологічному циклі зрощення / В.О. Пирогов // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції (м. Суми, 29 вересня – 1 жовтня 2021 року). – С. 75-78.

11. Тарельник В.Б. Технологічне забезпечення процесу відновлення бабітового покриття на етапі ремонту підшипникових вузлів роторних машин/ В.Б. Тарельник, Є.В. Коноплянченко, В.О. Пирогов В.О., Чжан Чженчуань // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції (м. Суми, 29 вересня – 1 жовтня 2021 року) – С. 88, 89.

12. Тарельник В. Б., Думанчук М. Ю., Пирогов В. О. Застосування системного підходу для управління якістю поверхневих шарів деталей насосних агрегатів // The 5th International scientific and practical conference —Modern research in world science (August 7-9, 2022) SPC —Sci-conf.com.ua, Lviv, Ukraine. 2022. pp. 256-262.

13. Тарельник В.Б. Критерії вибору технології нанесення бабітових покриттів підшипників ковзання роторних машин/ В.Б. Тарельник, В.О. Пирогов //Матеріалознавство та технології: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Харків : ХНАДУ, 2022. – С. 61-70.

Список патентів:

14. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях : пат. 142338 України на корисну модель, МПК (2020.01), B23H 5/00, B23H 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 11.01.2020 ; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 10. 10 с.

15. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей : пат. 141919 України на корисну модель, МПК (2020.01) B23H 5/00, B23H 9/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 27.12.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. 8 с.

16. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей : пат. 141920 України на корисну модель, МПК (2020.01) B23H 5/00, B23H 9/00 /

Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В., Тарельник Н. В., Саржанов Б. О., Пирогов В. О., Лазаренко А. Д., Гапон О. О. ; заявл. 27.12.2019 ; опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8. 9 с.

17. Спосіб цементації сталевих деталей електроіскровим легуванням : пат. 142822 України на корисну модель, МПК (2020.01) C23C 8/00, C23C 28/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О. М., Пирогов В.О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д. ; заявл. 11.02.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 8 с.

18. Спосіб захисту деталей пари тертя пружної муфти від фреттинг-корозії: пат. 142811 України на корисну модель : МПК (2020.01), C23F 15/00, F01D 5/28 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Думанчук М. Ю., Коноплянченко Є. В., Гапонова О. П., Тарельник Н. В., Пирогов В.О., Гапон О. О. ; заявл. 05.02.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12. 8 с.

19. Спосіб формування покриття на поверхні сталеві деталі методом електроіскрового легування: пат. 144932 України на корисну модель, МПК (2020.01), B23H 1/00, B23H 9/00, C23C 4/00, C23C 6/00, C23C 8/60 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Мисливченко О. М., Пирогов В.О., Гапон О. О., Лазаренко А. Д. ; заявл. 26.02.2020 ; опубл. 10.11.2020, Бюл. № 21. 15 с.

20. Спосіб зміцнення поверхонь сталевих деталей пар тертя: пат. 148495 України на корисну модель, МПК (2021.01) B23H 1/00 B23H 7/00 C23C 10/48 (2006.01) C23C 8/70 (2006.01) / Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Мисливченко О.М., Коноплянченко Є.В. Тарельник Н.В., Саржанов О.А., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д., Зенкін М.А., Волошко Т.П. ; заявл. 23.04.2021 ; опубл. 11.08.2021, Бюл. № 32. 11 с.

21. Спосіб формування пакетів гнучких елементів пружних муфт: пат. 151426 України на корисну модель : МПК (2022.01) F16D 3/56 (2006.01) C10M 103/02 (2006.01) C10M 111/00 / Марцинковський В.С., Думанчук М.Ю., Тарельник Н.В., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д.; заявл. 25.01.2022; 20.07.2022, Бюл.№ 29. 8 с.

22. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 148005 України на корисну модель, МПК (2021.01), В23Н 1/00, В23Н 5/00, F16С 33/04 (2006.01) С23С 8/00 С23С 4/00 С23С 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25. 12 с.

23. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 148006 України на корисну модель, МПК (2021.01), В23Н 1/00, В23Н 5/00, F16С 33/04 (2006.01) С23С 8/00 С23С 4/00 С23С 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25. 12 с.

24. Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипників ковзання: пат. 126517 України на винахід, МПК (2021.01), В23Н 1/00, В23Н 5/00, F16С 33/04 (2006.01) С23С 8/00 С23С 4/00 С23С 14/00 / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є.В., Антошевський Богдан (PL), Роп'як Л.Я., Саржанов О.А., Тарельник Н.В., Мікуліна М. О., Пирогов В. О., Лазаренко А.Д., Поливаний А.Д.; заявл. 22.03.2021 ; опубл. 19.10.2021, Бюл. № 42. 12 с.

ДОДАТОК Б

**Документи про охорону прав на винаходи та корисні моделі за темою
дисертації**





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142811** (13) **U**
 (51) МПК (2020.01)
 C23F 15/00
 F01D 5/28 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 00682 (22) Дата подання заявки: 05.02.2020 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2020 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2020, Бюл. № 12	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Думанчук Михайло Юрійович (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA) (73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA) (74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
---	--

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ ДЕТАЛЕЙ ПАРИ ТЕРТЯ ПРУЖНОЇ МУФТИ ВІД ФРЕТИНГ-КОРОЗІЇ**(57) Реферат:**

Спосіб захисту деталей пари тертя пружної муфти від фретинг-корозії, при якому виконують хіміко-фізичний вплив на поверхневий шар деталей, що контактують в парі тертя. Хіміко-фізичний вплив на поверхневий шар деталей, що контактують у парі тертя, здійснюють методом епіламіювання, при цьому деталі миють, знежирюють, поміщають у металеві кошики, занурюють в металеву ємність з епіламіювальним розчином, кип'ятять, після чого виймають і сушать.

UA 142811 U



УКРАЇНА

(19) UA (11) 142822 (13) U
 (51) МПК (2020.01)
 C23C 8/00
 C23C 28/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

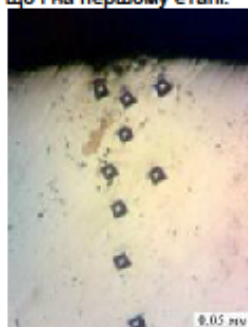
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 00863	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Мисливченко Олександр Миколайович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Галон Олександр Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 11.02.2020	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2020	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2020, Бюл. № 12	(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)
	(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286

(54) СПОСІБ ЦЕМЕНТАЦІЇ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ

(57) Реферат:

Спосіб цементациї сталевих деталей електроіскровим легуванням включає поетапне електроіскрове легування їх поверхонь графітовим електродом (ЦЕІЛ). Зміцнення проводять у три етапи: на першому етапі виконують ЦЕІЛ поверхні сталеві деталі з енергією розряду і продуктивністю в залежності від заданих показників товщини зміцненого шару, його щільності та шорсткості його поверхні, на другому етапі на сформовану на першому етапі поверхню деталі, ретельно втираючи, наносять порошок графіту, а на третьому етапі проводять ЦЕІЛ сформованої на другому етапі поверхні, причому ЦЕІЛ на третьому етапі проводять з тією енергією розряду і продуктивністю, що і на першому етапі.



Фіг. 1

UA 142822 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **151426** (13) **U**

(51) МПК (2022.01)

F16D 3/56 (2006.01)*C10M 103/02* (2006.01)*C10M 111/00*

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2022 00303 (22) Дата подання заявки: 25.01.2022 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 21.07.2022 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 20.07.2022, Бюл. № 29	(72) Винахідник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Думанчук Михайло Юрійович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA) (73) Володілець (володілці): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA) (74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
--	---

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПАКЕТІВ ГНУЧКИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРУЖНИХ МУФТ**(57) Реферат:**

Спосіб формування пакета гнучких елементів пружних муфт включає виготовлення гнучких елементів, нанесення на їх сполучні поверхні попередньо приготованого металоплакувального мастильного матеріалу, до складу якого входить парафін з додаванням порошку міді і порошку дисульфиду молібдену у кількості від 5 до 25 вагових відсотків кожний і подальше їх складання у пакет з механічним кріпленням. При приготуванні металоплакувального мастильного матеріалу додатково додають порошок графіту.

UA 151426 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **144932** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23H 1/00

B23H 9/00

C23C 4/00

C23C 6/00

C23C 8/60 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2020 01262**
(22) Дата подання заявки: **26.02.2020**
(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **11.11.2020**
(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **10.11.2020, Бюл. № 21**

(72) Винахідник(и):
**Тарельник В'ячеслав Борисович (UA),
Марцинковський Василь Сігізмундович
(UA),
Гапонова Оксана Петрівна (UA),
Мисливченко Олександр Миколайович
(UA),
Пирогов Віктор Олександрович (UA),
Гапон Олександр Олександрович (UA),
Лазаренко Андрій Дмитрович (UA)**

(73) Володілець (володільці):
**Марцинковський Василь Сігізмундович,
вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-
н, Сумська обл., 42343 (UA)**

(74) Представник:
Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНІ СТАЛЕВОЇ ДЕТАЛІ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ**(57) Реферат:**

Спосіб формування покриття на поверхні сталевій деталі методом електроіскрового легування, при якому безпосередньо перед легуванням на поверхню сталевій деталі наносять консистентну речовину, що містить сірку. Не чекаючи висихання нанесеної на поверхню сталевій деталі консистентної речовини, яка містить сірку, здійснюють легування електродом-інструментом з молібдену при енергії розряду $W_p=0,13-3,4$ Дж і продуктивності $0,8-2,5$ см² хв.

U
144932
U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148005** (13) **U**

(51) МПК (2021.01)

B23H 1/00

B23H 5/00

F16C 33/04 (2006.01)

C23C 8/00

C23C 4/00

C23C 14/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2021 01427**
 (22) Дата подання заявки: **22.03.2021**
 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: **24.06.2021**
 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: **23.06.2021, Бюл. № 25**

(72) Винахідник(и):
 Тарельник В'ячеслав Борисович (UA),
 Марцинковський Василь Сігізмундович (UA),
 Гапонова Оксана Петрівна (UA),
 Коноплянченко Євген Владиславович (UA),
 Антошевський Богдан (PL),
 Роп'як Любомир Ярославович (UA),
 Саржанов Олександр Анатолійович (UA),
 Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA),
 Мікуліна Марина Олександрівна (UA),
 Пирогов Віктор Олександрович (UA),
 Лазаренко Андрій Дмитрович (UA),
 Поливаний Антон Дмитрович (UA)

(73) Володілець (владільці):
 Марцинковський Василь Сігізмундович,
 вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н,
 Сумська обл., 42343 (UA)

(74) Представник:
 Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286

UA 148005 U

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ БРОНЗОВИХ ВКЛАДИШІВ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ**(57) Реферат:**

Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипника ковзання включає сульфидування і нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування (ЕІЛ) комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП) електродами-інструментами з формуванням шарів у послідовності: срібло - м'який метал - срібло. Шар срібла наносять при енергії імпульсу $Wu=0,52-4,6$ Дж. Шар свинцю наносять на шар срібла при енергії імпульсу $Wu=0,13-4,6$ Дж. На шар свинцю наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $Wu=0,05-0,36$ Дж. Оброблювані поверхні сульфидують перед кожним нанесенням шару срібла.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148006** (13) **U**

(51) МПК (2021.01)

B23H 1/00

B23H 5/00

F16C 33/04 (2006.01)

C23C 4/00

C23C 14/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2021 01430**
(22) Дата подання заявки: **22.03.2021**
(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **24.06.2021**
(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **23.06.2021, Бюл. № 25**

(72) Винахідник(и):
Тарельник В'ячеслав Борисович (UA),
Марцинковський Василь Сігізмундович
(UA),
Гапонова Оксана Петрівна (UA),
Коноплянченко Євген Владиславович
(UA),
Антошевський Богдан (PL),
Роп'як Любомир Ярославович (UA),
Саржанов Олександр Анатолійович (UA),
Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA),
Мікуліна Марина Олександрівна (UA),
Пирогов Віктор Олександрович (UA),
Лазаренко Андрій Дмитрович (UA),
Поливаний Антон Дмитрович (UA)
(73) Володілець (володільці):
Марцинковський Василь Сігізмундович,
вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н,
Сумська обл., 42343 (UA)
(74) Представник:
Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286

UA 148006 U

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ БРОНЗОВИХ ВКЛАДИШІВ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ**(57) Реферат:**

Спосіб обробки бронзових вкладишів підшипника ковзання включає сульфидування і нанесення на робочі поверхні вкладишів методом електроіскрового легування (ЕІЛ) комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП) електродами-інструментами з формуванням на робочих поверхнях шарів у послідовності: срібло - м'який метал - срібло. Шар срібла наносять при енергії імпульсу $W_u=0,52-4,6$ Дж. Шар олова наносять на шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,36-4,6$ Дж. На шар олова наносять ще один шар срібла при енергії імпульсу $W_u=0,05-0,36$ Дж. Оброблювані поверхні сульфидують перед кожним нанесенням шару срібла.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **148495** (13) **U**

(51) МПК (2021.01)

B23H 1/00

B23H 7/00

C23C 10/48 (2006.01)

C23C 8/70 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 02171	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Мисливченко Олександр Миколайович (UA), Конопляченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Саржанов Олександр Анатолійович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Поливаний Антон Дмитрович (UA), Зенкін Микола Анатолійович (UA), Волошко Тарас Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 23.04.2021	(73) Володілець (володільці): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 12.08.2021	(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 11.08.2021, Бюл.№ 32	

UA 148495 U
(54) СПОСІБ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ПАР ТЕРТЯ**(57) Реферат:**

Спосіб зміцнення поверхонь сталевих деталей пар тертя методом електроіскрового легування (ЕІЛ) графітовим електродом включає нанесення перед ЕІЛ на поверхню зміцнюваної деталі консистентної речовини, що містить алюміній і бор. ЕІЛ сталевих деталей графітовим електродом виконують при енергії розряду 0,13-4,9 Дж і продуктивності 1,0-2,0 см²/хв. При цьому застосовують консистентну речовину з вмістом алюмінієвої пудри не більше 56 % по масі та порошку аморфного бору близько 5 % по масі.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141919** (13) **U**
 (51) МПК (2020.01)
 B23H 5/00
 B23H 9/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2019 12304 (22) Дата подання заявки: 27.12.2019 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.04.2020 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.04.2020, Бюл.№ 8	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA) (73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA) (74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
---	---

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ЗНОШУВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей включає підготовку поверхні деталі, нанесення на неї комбінованого електроіскрового покриття, поверхнево-пластичну деформацію отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу. Перед нанесенням комбінованого електроіскрового покриття поверхню деталі шліфують до Ra=0,5 мкм. При формуванні комбінованого електроіскрового покриття спочатку проводять цементацію шліфованої поверхні деталі методом електроіскрового легування. Після виконують алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву T15K6. Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою. Після полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком твердосплавної суміші BK6, частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву T15K6.

UA 141919 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141920** (13) **U**
 (51) МПК (2020.01)
 B23H 5/00
 B23H 9/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2019 12307 (22) Дата подання заявки: 27.12.2019 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.04.2020 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.04.2020, Бюл.№ 8	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA) (73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA) (74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
---	---

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ЗНОШУВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей включає підготовку поверхні деталі, нанесення на неї зносостійких товстошарових комбінованих електроіскрових покриттів, поверхнево-пластичну деформацію отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу, армованого при полімеризації порошком твердосплавної суміші ВК8. Перед нанесенням комбінованого електроіскрового покриття поверхню деталі шліфують до Ra=0,5 мкм, при формуванні комбінованого електроіскрового покриття спочатку на нержавіючу сталь 12Х18Н10Т наносять електроіскрове покриття електродом-інструментом зі сталі 08Х15Н5Д2Т, потім проводять цементацію отриманого покриття методом електроіскрового легування, після чого виконують алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву Т15К8, далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою, а після полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком ВК8, частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К8.

UA 141920 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142338** (13) **U**
 (51) МПК (2020.01)
 B23H 5/00
 B23H 9/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 00190 (22) Дата подання заявки: 11.01.2020 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.05.2020 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.05.2020, Бюл. № 10	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA) (73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA) (74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
---	--

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ З КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ПОКРИТТЯМ НА ЗНОШУВАЛЬНИХ ПЛОСКИХ І КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХНЯХ**(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях включає цементацію поверхні порожнистої заготовки методом електроіскрового легування, алітування цементованого шару методом електроіскрового легування алюмінієвим електродом і нанесення методом електроіскрового легування покриття електродом з твердого сплаву. Поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою, потім від порожнистої заготовки відрізають кільце з нанесеним покриттям, а відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, далі розгинають їх за допомогою преса до заданих розмірів, здійснюючи остаточну обробку покриття сегментів методом пластичної деформації.

UA 142338 U

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Акт
впровадження результатів дисертаційної роботи
аспіранта СНАУ Пирогова Віктора Олександровича на
ТОВ «ТРІЗ ЛТД»

Дійсний акт складено про те, що в умовах ТОВ «ТРІЗ ЛТД» була здійснена промислова апробація наукових результатів, отриманих аспірантом кафедри технічного сервісу СНАУ Пироговим Віктором Олександровичем. А саме було впроваджено в виробничий процес технологію нанесення і відновлення методом електроіскрового легування (ЕІЛ) бабітових покриттів вкладишів підшипників (ВП) ковзання, які виготовляються на підприємстві та мають широке застосування в роторних машинах (відцентрових насосних і компресорних агрегатах, турбінах, центрифугах і т. ін.) та іншого технологічного обладнання.

На рис. 1 представлені окремі стадії відновлення бабітового покриття ВП ковзання зі сталі 20.

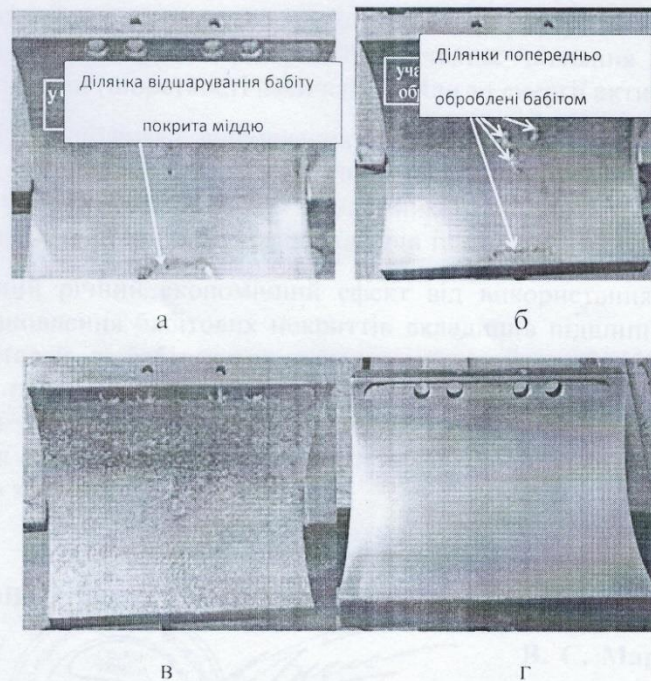


Рисунок 1 – Різні стадії відновлення покриття ВП: а – ЕІЛ ділянки відшарування покриття міддю; б - ЕІЛ найбільш пошкоджених ділянок покриття бабітом Б88; в – ЕІЛ усієї поверхні ВП бабітом Б88; г - полірування всієї поверхні ВП.

В процесі проведених досліджень по відновленню методом ЕІЛ бабітових покриттів ВП ковзання, аспірантом Пироговим В.О. були отримані наступні результати:

- встановлені кореляційні залежності якісних характеристик відновлюваних бабітових покриттів (ваги перенесеного бабіту на відновлюваний виріб, товщини і шорсткості сформованого шару), від технологічних параметрів ЕІЛ (енергії розряду), що дозволяє значною мірою реалізувати методику керування якістю поверхневих шарів, та проводити реновацію виробів з бабітовими покриттями;

- на підставі експериментальних досліджень запропоновано математичні моделі (рівняння масопереносу та прогнозування шорсткості поверхневого шару), що дозволяють за енергетичними параметрами установки ЕІЛ визначати основні технологічні параметри якості сформованого шару: кількість перенесеного матеріалу (ΔP_k), збільшення товщини покриття (Δh_c) та шорсткість поверхні (ΔR_z);

- розроблено методику визначення констант: рівнянь масопереносу (енергії активації процесу масопереносу E , приросту ваги та приросту насичення, відповідно ΔP_{kn} та Δh_{cn}), а також рівняння прогнозування шорсткості поверхні (шорсткості насичення ΔR_{an} та енергії активації $E_{\Delta R_z}$);

- нова технологія відновлення бабітових покриттів може бути використана для плаваючих кілець ущільнювальних вузлів компресорного обладнання, упорних та опорних підшипників ковзання, опорних пальців зубчастих коліс планетарних мультиплікаторів та ін.

Очікуваний річний економічний ефект від використання впровадженої технології відновлення бабітових покриттів вкладишів підшипників ковзання, та інших деталей з бабітовими покриттями, складає 214000 грн (двісті чотирнадцять тисячі гривень).

Вказаний економічний ефект наведений з метою економічного обґрунтування отриманих наукових результатів, та не є приводом для виплати матеріального заохочення.

Директор ТОВ «ТРІЗ-ЛТД»

К.Т.Н., доцент



В. С. Марцинковський

«19» 10 2022р

Начальник ремонтно-експлуатаційного
управління – Начальник відділу
головного механіка

Акт

**впровадження результатів дисертаційної роботи
аспіранта СНАУ Пирогова Віктора Олександровича на
Комунальному підприємстві «Міськводоканал»
Сумської міської ради**

В умовах КП «Міськводоканал» Сумської міської ради була здійснена промислова апробація наукових результатів, отриманих аспірантом СНАУ Пироговим Віктором Олександровичем. А саме апробація розробленої екологічно-безпечної технології підвищення довговічності відповідальних деталей пружних муфт, які широко застосовуються на КП «Міськводоканал» в приводах насосів, центрифуг та іншого технологічного обладнання. Пружна муфта (ПМ) складається з двох напівмуфт 1, 5 і пакетів з гнучких елементів 2, 4, розділених проставкою 3 (рис. 1). Гнучкі елементи (рис. 2) виконані у вигляді кільцевих металевих мембран заводського складання. Матеріалом для виготовлення гнучких елементів муфт служить корозійностійка холоднокатана сталь 12Х18Н9, ГОСТ 4986-79. Практично всі деталі ПМ працюють в важких умовах фретинг-корозії (Ф-К), що є основною причиною втрати її працездатності.

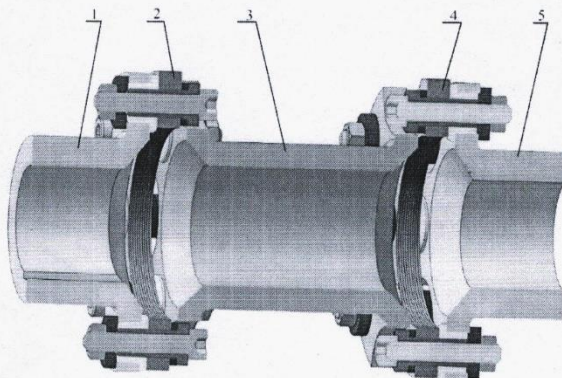


Рисунок 1 – Схема будови пружної муфти: 1, 5 – півмуфти, 2, 4 – пакети пружних елементів, 3 – проставка.

Запропонована аспірантом Пироговим В.О. технологія підвищення довговічності ПМ полягає в нанесенні металоплакувального мастильного матеріалу (МММ) на поверхні її гнучких елементів, які збираються в окремі

пакети. Металоплакувальний мастильний матеріал ПМ є сумішшю з парафіну та порошоків міді, дисульфиду молібдену та графіту.

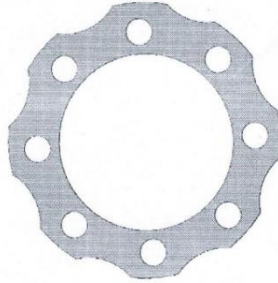


Рисунок 2 - Схематичне зображення гнучкого елемента.

Порівняльними дослідженнями результатів зносу від Ф-К поверхонь гнучких елементів з покриттям, нанесеним запропонованим способом і найближчого прототипу, які проводили на спеціальному стенді (рис. 3), що імітує роботу ПМ встановлено:

- при застосуванні МММ у вигляді парафіну з добавками з міді, дисульфиду молібдену і графіту, у порівнянні з прототипом, знос зменшується, приблизно, на 50 %;

- найбільш раціональний процентний вміст металоплакувальної добавки як з міді, так і з дисульфиду молібдену та графіту становить 5-25 вагових відсотків, оскільки подальше збільшення процентного вмісту кожної з добавок не впливає на якість мастила.

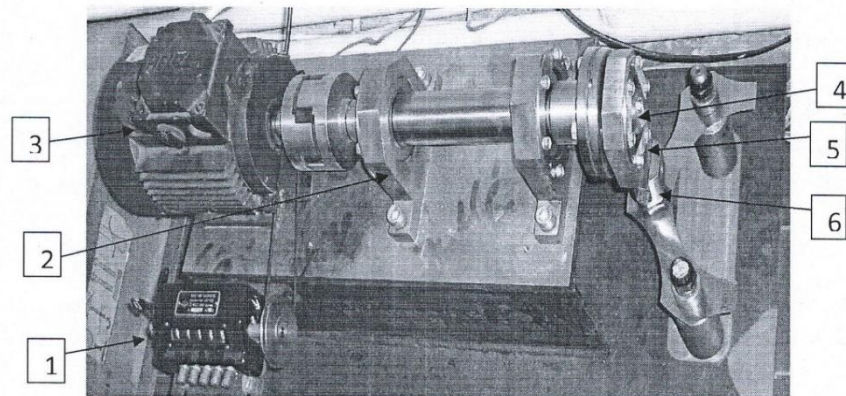


Рисунок 3 – Стенд для дослідження Ф-К: 1 – лічильник циклів; 2 – станина з підшипниковими опорами; 3 – електропривод; 4 – ексцентриковий механізм; 5 – пакет із гнучких елементів; 6 – механізм кріплення гнучких елементів.

Слід відмітити, що Ф-К в процесі експлуатації пружної муфти підлягають не тільки гнучкі елементи, а й набір кріпильних деталей, які з'єднують між собою півмуфту, пакет гнучких елементів і проставку, і входять в вузол, який є найбільш відповідальною ланкою, яка лімітує працездатність ПМ.

На рис. 4 представлені пари тертя пружної муфти, що піддаються Ф-К при контактуванні: 1 - "головка болта - втулка", 2 - "шийка болта - втулка", 3 - "шийка болта - шайба", 4 - "різьба болта - різьба гайки", 5 - "гайка - шайба", 6 - "п'ята - напівмуфта", 7 - "шайба - напівмуфта", 8 - "шайба мала - головка втулки", 9 - "шайба мала - шийка втулки", 10 - "гнучкі елементи - шийка втулки", 11 - "гнучкий елемент - шайба мала", 12 - "гнучкий елемент - гнучкий елемент", 13 - "гнучкий елемент - п'ята", 14 - "п'ята - напівмуфта", 15 - "п'ята - втулка".

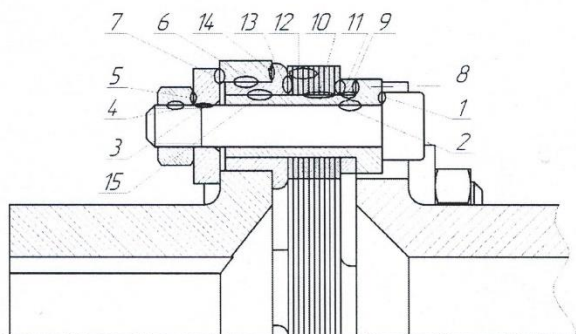


Рисунок 4 – Контактуючі поверхні ПМ, що піддаються Ф-К.

Проблема захисту кріпильних деталей ПМ від Ф-К вирішується створенням нового способу, що включає хіміко-фізичний вплив на поверхневий шар деталей, що контактують методом епіламіювання.

На оброблюваній поверхні при епіламіюванні формується шар орієнтованих молекул, які перешкоджають розтіканню масла із зони тертя. Мономолекулярна плівка дозволяє знизити коефіцієнт тертя в 2-3 рази, а поверхневу енергію зменшити в ~1000 разів і, як наслідок, підвищити зносостійкості пар тертя. Молекули епіламу закріплюються на поверхні твердого тіла за рахунок сил хемосорбції. Завдяки тому, що зв'язок епіламу з поверхнею хімічний, а не фізичний, адгезія захисної мономолекулярної плівки дуже висока. Одна з важливих переваг епіламіювання полягає в тому, що воно не змінює структуру оброблюваної поверхні, а лише модифікує її, надаючи поверхні антифрикційних, антиадгезійних, гідрофобних, захисних та інших корисних властивостей. Практично, незмінними залишаються і геометричні розміри оброблюваних деталей, оскільки товщина захисного покриття становить ~(4-8) мкм.

Сформована бар'єрна плівка з епіламу витримує температуру до 400 °С, не руйнується при ударних навантаженнях до 300 кг/мм². Молекули епіламу заповнюють мікронерівності і мікротріщини, знижуючи поверхневу крихкість. Найактивніше вони взаємодіють з молекулярною структурою основи саме в місцях порушення кристалічної решітки, створюючи свого роду латки і зміцнюючи взаємодіючі поверхні. Таким чином, сама плівка запобігає зносу

взаємодіючих поверхонь, а її структура у вигляді ворсу утримує змащувальні матеріали в зоні контакту, виключаючи сухе тертя.

Порівняльними іспитами встановлено, що параметри шорсткості кріпильних деталей (R_a , R_z і R_{max}), оброблених методом епіламіювання, у порівнянні з необробленими, знизилися, відповідно, в 1,55; 1,53 і 1,39 рази.

На рис. 5 графічно показані результати вимірювання величини шорсткості поверхні шийки болта, шийки втулки, гайки і шайби: 1-й, 3-й і 5-й ряд, відповідно R_a , R_z , R_{max} - після епіламіювання.

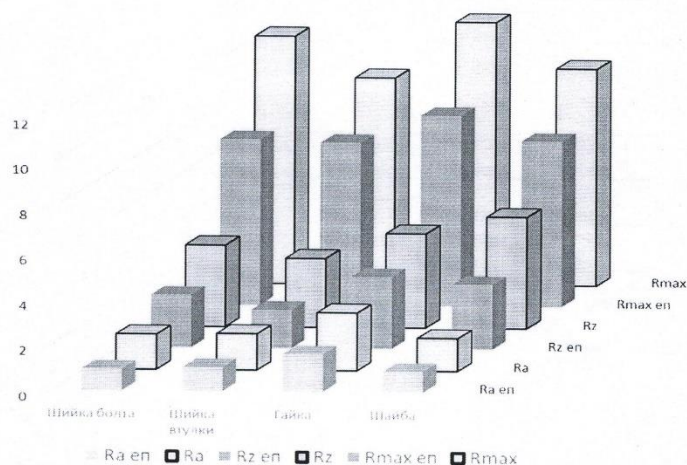


Рисунок 5 - Результати вимірювання величини шорсткості поверхні деталей після (1-й, 3-й і 5-й ряд) епіламування; і без епіламування (2-й, 4-й і 6-й ряд).

Запропонований спосіб (*патент України на корисну модель № 142811*) не тільки значно підвищує зносостійкість сполучених деталей, а і за рахунок застосування простішого і дешевшого обладнання і зменшення трудомісткості обробки, знижує собівартість процесу.

Очікуваний річний економічний ефект від використання впровадженої технології складає 267000 грн (двісті шістьдесят сім тисяч гривень).

Вказаний економічний ефект наведений з метою економічного обґрунтування отриманих наукових результатів, та не є приводом для виплати матеріального заохочення.



ПІДТВЕРДЖУЮ:

Інженер технічний

ПАТ «Сумихімпром»

Сергій КАРПЦОВ

10 2022 р.

Акт**впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта
СНАУ Пирогова Віктора Олександровича на ПАТ
«Сумихімпром»**

Дійсним підтверджуємо, що нами прийняті до впровадження в виробництві розроблені аспірантом Сумського національного аграрного університету (СНАУ) Пироговим Віктором Олександровичем ефективні технологічні процеси підвищення довговічності валів відцентрових насосів, які широко застосовуються на ПАТ «Сумихімпром».

В даний час розроблено велику кількість різновидів відцентрових насосів, що класифікуються: за кількістю робочих коліс, за способом підведення рідини колесу (одно-, двосторонні), за способом відведення рідини з колеса (турбінні, спіральні тощо), за способом комунікації з двигуном (за допомогою муфти, робоче колесо встановлено на кінці валу), за розташуванням валу (горизонталь, вертикаль), по конструкції колеса (закриті та відкриті).

Незважаючи на високі експлуатаційні властивості і довговічність відцентрових насосів слід відмітити, що вони, як правило працюють в важких умовах оточуючих середовищ (вологість, пар, наявність у повітрі слідів кислоти або луги і таке інше), що значно збільшує зношування їх поверхонь. Незворотнім процесом такої експлуатації є основною причиною зносу деталей, зміни їх геометричних розмірів та стану. Після проходження періоду припрацювання поверхонь деталей, тривалого часу встановленого зношування, настає період катастрофічного зношування - різке погіршення експлуатаційних якостей окремих деталей, механізмів та агрегату загалом. Інтенсивність процесу зношування залежить в більшому ступені від умов роботи насосу та матеріалу деталей.

Слід відмітити, що знос деталей насосного обладнання не зупиняється під час коли насос не працює. Також крім фізичного зносу відцентрових насосів існує, так званий, моральний (економічний) знос. До основних видів зносу слід віднести: абразивний, механічний, корозійний, кавітаційний та фретинговий.

До деталей та їх елементів, від ступеню зносу поверхонь яких залежить подальша експлуатація насосу, слід віднести підшипникові шийки валу, посадкові місця кулькових та роликів підшипників, робочих коліс, захисних втулок, поверхонь ущільнень, корпусів та ін.

В процесі проведення дослідницьких робіт, направлених на збільшення довговічності підшипникових та посадкових шийок валів роторів відцентрових компресорів аспірантом Пироговим В.О. були отримані наступні результати.

1. Удосконалена можливість застосування методу електроіскрового легування (ЕІЛ) при цементації ($\text{Ц}_{\text{ЕІЛ}}$) сталених поверхонь підшипникових шийок (цапф) валів роторів відцентрових насосів (*патент України на корисну модель № 142822*). Порівняльний аналіз параметрів якості поверхневого шару після традиційної і пропонованої технологій $\text{Ц}_{\text{ЕІЛ}}$ показав, що після обробки поверхні сталі 20 за пропонованою технологією шорсткість поверхні зменшується з $Ra = 8,3-9,0$ до $3,2-4,8$ мкм; суцільність легованого шару збільшується з 80 до 100%; глибина дифузійної зони вуглецю збільшується з 35 до 70 мкм, мікротвердість «білого» шару і його товщина збільшуються, відповідно з 8492 до 10796 МПа і з 60 до 230 мкм. При заміні сталі 20 на сталь 40Х і 30Х13 мікротвердість «білого» шару і його товщина в цих сталях збільшується, відповідно до 11823 і 10991 МПа та 240 і 240 мкм.

2. Запропонований спосіб формування на поверхнях підшипникових шийок валів дисульфід молібденових покриттів (*патент України на корисну модель №144932*). В результаті локального енергодисперсного рентгенівського мікроаналізу розподілу сірки, молібдену і заліза в поверхневому шарі сталі 40 з покриттям S+Mo, нанесеним методом ЕІЛ, встановлено, що сірка та молібден концентруються на глибині до 4 - 19; 5 - 25 і 15 - 70 мкм відповідно, при $W_p = 0,13; 0,55$ і 3,4 Дж. Рентгеноструктурний аналіз отриманих покриттів підтверджує результати енергодисперсного аналізу. При ЕІЛ сталі 40 з енергією розряду $W_p = 3,4$ Дж кількість мартенситної фази зростає до 30%, порівняно з 11% при $W_p = 0,55$ Дж, кількість залишкового аустеніту зменшується з 25% до 6%, з'являється до 5% дисульфід молібдену.

3. Запропонований спосіб формування на посадочних поверхнях валів зносостійких покриттів складу Al-C-B, які наносять методом ЕІЛ (*патент України на корисну модель № 148495*). Мікроструктурний аналіз покриттів на сталі 40 показав, що при збільшенні енергії розряду з $W_p = 0,13-0,55$ до 4,9 Дж товщина зміцненого шару збільшується з 15-20 до 60 мкм. ДюрOMETричні дослідження показали, що з підвищенням W_p збільшується мікротвердість: при $W_p=0,13$ Дж - $H_c = 6487$ МПа, а при $W_p = 4,9$ Дж - 12350 МПа.

4. Порівняльними дослідженнями встановлено, що ваговий знос круглих зразків з шліфованої сталі 40Х більший чим сталі 30Х13 в 1,15 рази і відповідно в 2,50 і 4,41 рази ніж сталі 40Х після $\text{Ц}_{\text{ЕІЛ}}$ +ППД і ЕІЛ (Mo+S)+ППД.

Очікуваний річний економічний ефект від використання впровадженої технології складає 375000 грн (триста сімдесят п'ять тисяч гривень).

Головний механік ПАТ «Сумихімпром»

Андрій КОВНЕР



ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор СумДУ

Сергій ЛСОНОВ

» 11 2022 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Пирогова Віктора Олександровича

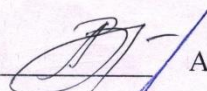
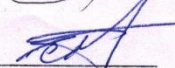
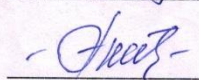
на тему: «Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення
комбінованими екологічно безпечними технологічними методами»
у навчальний процес

Комісія у складі:

Голова комісії: завідувач кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира
Марцинковського
Андрій Загорулько

Члени комісії: доцент кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира
Марцинковського
Сергій Гудков
зав. навчальної лабораторії кафедри комп'ютерної механіки
імені Володимира Марцинковського
Світлана Міщенко

Встановлено, що результати науково-дослідної роботи Пирогова В.О. на
тему: «Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення
комбінованими екологічно безпечними технологічними методами»
впроваджені у навчальний процес кафедри комп'ютерної механіки імені
Володимира Марцинковського і використовуються при викладанні дисциплін
«Трибомеханіка та основи контактної механіки» і «Конструкції та розрахунок
підшипників ковзання» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг в механіці»).

Голова комісії:  Андрій ЗАГОРУЛЬКОЧлени комісії:  Сергій ГУДКОВ Світлана МІЩЕНКО

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової та
міжнародної діяльності
Сумського національного
аграрного університету



Юрій ДАНЬКО
» 42 2022р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Пирогова Віктора Олександровича
на тему: «Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення
комбінованими екологічно безпечними технологічними методами»
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Комісія у складі: завідувача кафедри технічного сервісу, д.т.н., проф. Тарельника В.Б. (голова комісії), доцента кафедри технічного сервісу к.т.н. Думанчука М.Ю., доцента кафедри технічного сервісу к.т.н. Бондарева С.Г., склала цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи Пирогова В.О. на тему: «Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення комбінованими екологічно безпечними технологічними методами» впроваджені в навчальний процес кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Матеріалознавство і ТКМ» «Технологія машинобудування в галузі», і «Триботехнологія», а також при виконанні магістерських робіт, курсових і дипломних проектів.

Голова комісії:

В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК

Члени комісії:

Михайло ДУМАНЧУК

Сергій БОНДАРЕВ