

Тема: «Підвищення довговічності деталей компресорів для фермерських господарств»

Виконав: Матяш Володимир Григорович

Керівник: Тарельник В.Б.

ВСТУП:

Повітряні компресори для сільськогосподарської промисловості відіграють ключову роль у сільському господарстві та фермерстві: насправді, деякі застосування повітряних компресорів для сільськогосподарської промисловості добре відомі протягом десятиліть, а деякі застосування промислових повітряних компресорів у сільському господарстві є більш передовими, що дає змогу зазирнути у майбутнє сільського господарства.

Протягом багатьох років сільськогосподарське виробництво на фермах здійснювалося за допомогою повітряних компресорів. Повітряний компресор, який є доступним, надійним та надійним, завжди необхідний, незалежно від того, чи це невелика сімейна ферма, чи великий бізнес.

Повітряні компресори були основою цього бізнесу протягом десятиліть і фактично прокладають шлях для інноваційних та ефективних методів транспортування, виробництва сільськогосподарських культур та обслуговування ферм. Виробники повітряних компресорів виготовляють різні типи повітряних компресорів, які можна використовувати в сільському господарстві, і фермер може вибрати той, який йому найкраще підходить.

На фермах пневматичні транспортні системи широко використовуються для легкого транспортування зерна, порошків та інших товарів до складських приміщень. Те саме можна зробити за допомогою промислового пирососного насоса. Деякі ферми використовують повітродувки низького тиску для подачі повітря для реаерації своїх резервуарів, що дозволяє їм очищувати стічні води на місці. Реаерація допомагає аеробним бактеріям виробляти ферменти, необхідні для розщеплення відходів.

До сучасного дня актуальні питання, спрямовані на підвищення ефективності компресорного обладнання, що використовується в сільськогосподарському виробництві, шляхом збільшення терміну служби параметрів якості робочих поверхонь деталей компресора. Тому тема дипломної магістерської роботи «Підвищення довговічності деталей компресорів для фермерських господарств» актуальна і своєчасна.

В дипломній роботі наведено інформацію про компресори, методи обробки металу, деформацію, вплив шорсткості поверхні на експлуатаційні характеристики деталей та методи підвищення довговічності при використанні механічної обробки та нанесення захисних покриттів для покращення якості поверхневого шару деталей.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ, ПОВ'ЯЗАІ З ПІДВИЩЕННЯМ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДЕТАЛЕЙ КОМПРЕСОРІВ

1.1. Повітряні компресори та важливість довговічних деталей

Повітряні компресори стали невід'ємним компонентом сучасних промислових операцій. Їхня здатність перетворювати електричну або механічну енергію на стиснене повітря дозволяє виконувати широкий спектр критично важливих функцій — від живлення інструментів до автоматизації виробничих ліній та забезпечення чистого навколишнього середовища. Надійність цих машин безпосередньо впливає на ефективність виробництва, експлуатаційні витрати та якість продукції.

Однак справжньою основою будь-якої системи повітряного компресора є якість та довговічність її деталей. Без надійних та добре спроектованих деталей повітряного компресора навіть найсучасніші компресори стикатимуться з частими поломками, зниженням ефективності та дорогими простоями. Це особливо актуально в галузях, які вимагають безперервної високопродуктивної роботи в складних умовах.

Критична роль повітряних компресорів у промисловості

Повітряні компресори забезпечують чисте, універсальне та ефективне джерело енергії, яке широко використовується в промисловості. Стиснене повітря можна знайти:

- Живлення пневматичних ручних інструментів, таких як дрилі, ударні гайковерти та шліфувальні машини

- Керування клапанами, циліндрами та приводами в автоматизованих виробничих лініях
- Постачання чистого, сухого повітря для захисту чутливих виробничих процесів
- Забезпечення зусилля у фарбуванні, пакуванні та обробці матеріалів

Оскільки стиснене повітря часто називають «четвертою основою» на промислових підприємствах, безперервна доступність та надійність компресорів мають першорядне значення. Однак компресори працюють під значним механічним та термічним навантаженням, що створює високі вимоги до внутрішніх компонентів.

Міцні деталі повітряних компресорів не лише покращують продуктивність, але й зменшують кількість перерв у роботі. Для галузей з цілодобовою роботою довговічність деталей безпосередньо пов'язана з прибутковістю та якістю продукції.

Ключові промислові сектори, що залежать від довговічних деталей повітряних компресорів

Автомобільна промисловість

Автомобільна промисловість широко використовує стиснене повітря для інструментів складальних ліній, кабін для фарбування розпиленням, накачування шин та роботизованих систем. Пневматичні інструменти, що працюють на компресорах, є популярними завдяки своїй швидкості, точності та зниженій втомі оператора.

Вимоги до довговічності: Автомобільне складання передбачає багаторазове використання пневматичних інструментів, що вимагає поршнів, циліндрів та клапанів, які можуть витримувати постійні механічні цикли без втрати продуктивності.

Посилені поршні зі зносостійкими покриттями, міцні колінчасті вали, точно спроектовані клапани та високоефективні системи фільтрації оливи для захисту рухомих частин.

Чому це важливо: Поломка компресора на виробничій лінії може зупинити складання автомобіля, призвести до зриву термінів та вплинути на загальну якість збірки через нестабільний тиск повітря, що впливає на нанесення фарби та продуктивність інструментів.

Крім того, потреба в чистому, безмасляному стисненому повітрі у фарбувальних камерах вимагає спеціалізованих фільтрів та маслоповітряних сепараторів для підтримки якості покриття та дотримання екологічних стандартів.

Харчова промисловість та промисловість напоїв

У виробництві харчових продуктів та напоїв стиснене повітря є вирішальним для пакування, пневматичного транспортування, змішування та очищення. Однак повітря має бути без забруднень та сухим, щоб відповідати суворим гігієнічним стандартам.

Вимоги до довговічності: Обладнання працює у вологих, сирих середовищах з регулярним впливом мийних хімікатів, що вимагає корозійностійких та санітарно-гігієнічних деталей.

Критичні деталі: циліндри з нержавіючої сталі або харчового алюмінію, корозійностійкі клапани та фітинги, гігієнічні повітряні фільтри та масловіддільники, призначені для запобігання забрудненню мастильних матеріалів.

Чому це важливо: Погіршення чистоти повітря може призвести до бактеріального забруднення, псування та порушень нормативних вимог, що зрештою призведе до відкликання продукції та пошкодження бренду. Довговічність деталей компресора забезпечує надійну та безперервну роботу в умовах, які можуть швидко вивести з ладу неякісні компоненти.

Фармацевтична промисловість

Фармацевтичне виробництво вимагає стерильного стисненого повітря без забруднень для таких процесів, як покриття таблеток, наповнення капсул та приготування ін'єкційних розчинів. Будь-які домішки можуть поставити під загрозу безпеку продукції та відповідність нормативним вимогам.

Вимоги до довговічності: Деталі повинні витримувати протоколи стерилізації, забезпечувати герметичність ущільнень та гарантувати відсутність забруднення маслом або твердими частинками.

Критичні деталі: прецизійно розроблені клапани та циліндри з нержавіючої сталі, вдосконалені системи фільтрації, безмасляні компресори або високоефективні маслоповітряні сепаратори, а також ущільнення, сумісні з чистими приміщеннями.

Чому це важливо: Навіть слідові забруднення можуть призвести до компрометації ліків, що ставить під загрозу здоров'я пацієнтів та спричиняє значні юридичні та фінансові наслідки. Міцні компоненти також мінімізують час простою, що дозволяє безперервне виробництво з дотриманням суворих термінів випуску партій та контролю якості.

Будівельна галузь

Будівельні майданчики створюють одні з найсуворіших умов експлуатації повітряних компресорів. Вони повинні жити важкі інструменти, такі як відбійні молотки, бетономолки та цвяхозабивні пістолети, часто в запилених умовах, на відкритому повітрі та за змінних температур.

Вимоги до довговічності: Деталі повинні бути стійкими до абразивного пилю, ударів, вібрацій та вологи, зберігаючи при цьому надійну роботу, незважаючи на недбале поводження.

Критично важливі деталі: посилені поршні та циліндри, ударостійкі клапани та ущільнення, корозійностійкі підшипники та міцні фільтри впускного отвору.

Чому це важливо: Поломки компресорів призводять до простоїв, які можуть затримувати проекти, збільшувати витрати на оплату праці та знижувати продуктивність і безпеку працівників. Переносні компресори також стикаються з механічними навантаженнями через часте транспортування та налаштування, що підкреслює необхідність використання міцних та довговічних компонентів.

Текстильна та електронна промисловість

У текстильному та електронному виробництві стиснене повітря має бути стабільним, без вібрацій, олії та вологи, щоб захистити чутливі машини та матеріали.

Вимоги до довговічності: Компоненти повинні забезпечувати точний, стабільний потік повітря без забруднення або пульсації, які можуть пошкодити делікатні тканини або мікроелектронні вузли.

Критичні деталі: високоточні клапани та регулятори, безмасляні або безмасляні конструкції компресорів, вдосконалені системи фільтрації повітря та оливи, а також компоненти, що поглинають вібрацію.

Чому це важливо: Коливання тиску повітря або забруднення маслом можуть спричинити дефекти тканин або електроніки, що призведе до бракованих партій та дороговартісних відходів. Міцні деталі допомагають підтримувати низький рівень шуму та плавну роботу, створюючи кращі робочі умови та якість продукції.

Чому довговічність деталей повітряного компресора є важливою

Термостійкість

Компресори виділяють значну кількість тепла під час циклів стиснення, особливо під час безперервної роботи або роботи з високими навантаженнями. Надмірне тепло прискорює знос, викликає теплове розширення та може призвести до поломок ущільнень або деформації деталей.

Міцні деталі, виготовлені з термічно оброблених сплавів або оснащені спеціальними покриттями, зберігають свою структурну цілісність під термічним навантаженням. Такі компоненти, як поршні із загартованої сталі, термостійкі ущільнення та мастила, розроблені для високих температур, зменшують тертя та запобігають перегріву. Термостійкість також мінімізує ризик непередбачених зупинок, спричинених термічним пошкодженням.

Стійкість до корозії

Волога, мастильні матеріали та забруднювачі навколишнього середовища сприяють корозії — головній причині передчасного виходу з ладу компресора.

Використання корозійностійких матеріалів, таких як нержавіюча сталь, анодований алюміній або полімерні покриття, допомагає захистити деталі, що піддаються впливу вологого або хімічно агресивного середовища.

1.2. Найкраще використання промислових повітряних компресорів у сільському господарстві

Сьогодні фермери стикаються зі зростаючими вимогами щодо дотримання термінів виробництва, зберігаючи при цьому економічну ефективність. Саме в цьому полягає перевага промислових повітряних компресорів (рис. 1.1). Завдяки своїй здатності жити кілька застосувань за допомогою стисненого повітря, ці системи забезпечують точність і масштабованість у сільськогосподарській діяльності. У цьому блозі досліджуються основні способи використання промислових повітряних компресорів у сільському господарстві та те, як вони підтримують зрошення, догляд за посівами, догляд за худобою тощо.



Рисунок 1.1 – Компресорна станція повітряних компресорів на сільськогосподарському підприємстві

Удосконалення іригаційних систем

Ефективне зрошення має вирішальне значення в сільському господарстві, забезпечуючи отримання культурами необхідної кількості води для оптимального росту. Промислові повітряні компресори вдосконалюють системи зрошення, живлячи пневматичні елементи керування, що використовуються в сучасних системах. Ці елементи керування автоматизують розподіл води по сільськогосподарських угіддях, усуваючи неефективність традиційних ручних методів.

Пневматичне зрошення (рис. 1.2) спрощує процес, доставляючи воду у вимірних об'ємах до певних ділянок. Стиснене повітря також допомагає в обслуговуванні трубопроводів, очищаючи їх від засмічень та забруднень. Таке обслуговування зменшує втрати води та знижує експлуатаційні витрати.

Наприклад, клапани, що приводяться в дію стисненим повітрям, у системах крапельного зрошення забезпечують точне регулювання часу та тиску, що дозволяє відповідально використовувати воду на великих полях. Ці системи мінімізують втрати ресурсів та покращують якість врожаю.

Сільськогосподарські підприємства можуть покладатися на стабільну та надійну роботу для підтримки здоров'я полів протягом усього року, інтегруючи передові системи стисненого повітря в зрошення.



Рисунок 1.2 – Використання промислових повітряних компресорів в системах зрошення

Силове обладнання та машин

Сільськогосподарська техніка є основою сільськогосподарських операцій, від посадки до збору врожаю. Промислові повітряні компресори – це потужні інструменти та обладнання, які оптимізують ці процеси. Пневматичні системи, що підтримуються компресорами, підвищують не лише швидкість, але й точність.

Повітряні компресори широко використовуються для живлення ударних гайковертів, дрилів та інших інструментів для технічного обслуговування, необхідних для складання або ремонту сільськогосподарської техніки. Наприклад, вони забезпечують надійне живлення для роботи спеціалізованої техніки, такої як сівалки [1] та зернові шнеки (рис. 1.3).



а



б

Рисунок 1.3 - Сівалка зернова прямого висіву (а) та транспортер шнековий, виробництва ТОВ "ОЛІС", призначений для транспортування зерна (б) [1]

Зменшення залежності від ручної праці знижує втому працівників, забезпечуючи ефективне обслуговування обладнання. Це також обмежує час простою, спричинений механічними несправностями, надаючи фермерам масштабованість для обслуговування великих сільськогосподарських угідь з меншою кількістю перерв.

Допоміжне обприскування сільськогосподарських культур

Обприскування посівів є одним з основних застосувань промислових повітряних компресорів у сільському господарстві [2] (рис. 1.4). Високі стандарти гігієни та боротьби зі шкідниками необхідні для успішного збору врожаю, а обприскувачі зі стисненим повітрям роблять це можливим.

Ці обприскувачі рівномірно вносять добрива та засоби від шкідників на посіви, забезпечуючи швидке та ретельне покриття. Промислові повітряні компресори роблять процес внесення економічно ефективним та екологічно безпечним, потребуючи менше хімікатів для досягнення оптимальних результатів.



Рисунок 1.4 – Проведення пізніх гербіцидних обробок обприскуванням

Стиснене повітря також живить розпилувачі, які генерують надтонкий туман. Це дозволяє фермам доставляти точні дози обробки виключно там, де це необхідно. Фермери отримують кращий контроль над своїми витратами, що призводить до здоровішого врожаю, водночас заощаджуючи надлишок пестицидів і добрив.

Забезпечення розподілу кормів для тварин

Догляд за худобою є невід'ємною частиною сільськогосподарських операцій. Ефективне годування великої кількості тварин залежить від оптимізованих процесів розподілу. Промислові повітряні компресори трансформують автоматизовані системи постачання кормів.

Наприклад, системи стисненого повітря живлять обладнання для переміщення кормів насипом, що дозволяє безперешкодно переміщувати зерно

та інші кормові інгредієнти у спеціально відведених силосах. Це забезпечує однакові порції на кількох станціях годівлі, балансує споживання поживних речовин між стадами.

Тваринницькі ферми зменшують експлуатаційні витрати на робочу силу, встановлюючи повітряні компресори. Довговічність обладнання додатково забезпечує довгострокову функціональність, збільшуючи цінність систем годівлі протягом усього терміну служби.

Прибирання сільськогосподарських приміщень

Підтримка чистоти на фермах безпосередньо впливає на безпеку сільськогосподарських культур і худоби. Повітряні компресори спрощують трудомісткі процеси очищення, необхідні для дотримання гігієнічних стандартів на сільськогосподарських об'єктах.

Стиснене повітря зазвичай використовується для здування пилу, сміття та забруднень з обладнання, підлог та інших поверхонь. Завдяки високому тиску промислові повітряні компресори досягають важкодоступних місць та кутів, які часто недооцінюють під час ручного очищення.

Санітарні стандарти на молочних та птахофермах покращуються завдяки пневматичним очисним інструментам. Компресори дозволяють операторам підтримувати бездоганну чистоту в зонах збору, стійлах та місцях годівлі, зменшуючи ризики зараження або поширення хвороб серед тварин.

Крім того, таке очищення за допомогою повітря зменшує залежність від надмірного використання води, сприяючи зусиллям з охорони природи, водночас підтримуючи екологічну відповідальність на сільськогосподарських угіддях.

Аерація водних ферм

Окрім традиційного землеробства, промислові повітряні компресори застосовуються в аквакультури, забезпечуючи ефективну аерацію водного середовища. Аерація покращує рівень кисню, що є критично важливим для здоров'я риб та водної рослинності.

Компресори живлять дифузори та фонтани для подачі розчиненого кисню в резервуари для розведення риби, забезпечуючи здорові умови для розмноження. Збалансований рівень кисню також оптимізує ріст водної рослинності, вирощеної для комерційного прибутку та збагачення навколишнього середовища.

Удосконалена конструкція промислових повітряних компресорів забезпечує мінімальні втрати енергії під час роботи, що робить аерацію масштабованим рішенням для прісноводних або морських ферм. Незалежно від того, чи вирощуєте ви креветок, чи культивуєте водорості для біопалива, стиснене повітря є життєво важливим.

Консервування зерна

Збереження зерна після збору врожаю вимагає ретельного контролю умов зберігання. Промислові повітряні компресори регулюють внутрішні умови силосів для тривалого зберігання, живлячи системи аерації для боротьби з накопиченням вологи та тепла.

Імпульсно-струменеві системи, що приводяться в дію стисненим повітрям, підтримують оптимальний потік повітря через зернову масу, видаляючи зайву вологу для запобігання утворенню цвілі. Регулювання температури, яке забезпечують ці системи, додатково запобігає псуванню, зберігаючи якість врожаю протягом тривалого часу.

Процеси фумігації, необхідні для зберігання зерна, значною мірою залежать від систем розподілу стисненого повітря. Це зменшує проблеми із зараженням та захищає доходи, отримані від зібраного врожаю.

Посилення операцій мобільності

Універсальність промислових повітряних компресорів поширюється на мобільні операції на фермах, що потребують портативних джерел живлення. Повітряні компресори забезпечують універсальність, дозволяючи фермерам використовувати такі інструменти, як пневматичні молоти або вибивачі стовпів, де завгодно на їхніх ділянках, незалежно від доступу до електроенергії.

Бензинові повітряні компресори забезпечують незалежність мобільних застосувань, забезпечуючи стабільну продуктивність. Незалежно від того, чи це огороження просторих пасовищ, чи проведення ремонтних робіт на узбіччі доріг, портативність розширює можливості оператора легко задовольняти різноманітні операційні вимоги.

Завдяки промисловим повітряним компресорам фермери можуть скоротити час простою та виконувати завдання на вимогу без обмежень традиційних джерел живлення, прив'язаних до мережевої інфраструктури.

Оптимізація процесів пакування

Окрім вирощування, промислові повітряні компресори підтримують процедури післязбирального пакування завдяки їх застосуванню в автоматизованих системах сортування та наповнення. Ці системи забезпечують точність і швидкість під час категоризації зібраної продукції.

Конвеєри, що працюють на стисненому повітрі, оптимізують пакувальні лінії, переміщуючи товари екологічно без важкого механічного підйому. Це мінімізує навантаження на робочу силу, водночас захищаючи структурну цілісність чутливої продукції під час транспортування.

Ефективність післязбирального догляду, що підтримується повітряними компресорами, зменшує втрати від пошкоджень або неправильного поводження, гарантуючи якість продукції до її потрапляння на ринки або канали збуту.

Надійна автоматизація та не тільки

Інтеграція промислових повітряних компресорів у сільськогосподарські угоди пропонує більше, ніж просто функціональну підтримку; вона створює основу для подальшого розвитку технологічних методів ведення сільського господарства. Повітряні компресори символізують надійність, незалежно від того, чи вони сприяють рішенням для точного зрошення, чи перебудові трубопроводів для переробки молочних продуктів.

Фермери, які працюють в умовах непередбачуваних змін навколишнього середовища, знаходять заспокоєння в автоматизації, що підтримується стисненим повітрям. Підвищена продуктивність пневматичних систем

безпосередньо призводить до підвищення продуктивності та зменшення екологічного сліду.

Промисловість дедалі більше покладається на свій внесок у точність, прибутковість та екологічну відповідальність. Для найвищої ефективності сільськогосподарські підприємства повинні використовувати професійно розроблені компресорні системи, що відповідають їхнім потребам. Завдяки рішенням, що надають пріоритет довговічності та стабільній продуктивності, роль стисненого повітря є незамінною у трансформації сільськогосподарської практики. Як постачальник повітряних компресорів, ми можемо допомогти вам знайти відповідне обладнання для ваших сільськогосподарських потреб. Зверніться до нас сьогодні, щоб розпочати.

Корозійна стійкість не тільки подовжує термін служби деталей, але й запобігає потраплянню частинок іржі в потік стисненого повітря, що може пошкодити обладнання, що знаходиться далі за потоком.

Зносостійкість

Повторюваний рух поршнів, роторів і клапанів піддає їх механічному зносу та стиранню, поступово знижуючи ефективність і призводячи до поломок. Точне машинобудування, загартовані поверхні та використання зносостійких матеріалів, таких як кераміка або оброблені сплави, зменшують стирання та підтримують жорсткі допуски. Належні системи змащення та самозмашувальні компоненти ще більше подовжують термін служби деталей, мінімізуючи тертя.

Контроль забруднення

Такі забруднювачі, як масляний туман, пил і волога, погіршують якість повітря, знижують ефективність компресора та пошкоджують пневматичні інструменти та обладнання.

- Високоякісні масляні та повітряні фільтри запобігають циркуляції шкідливих частинок.
- Маслоповітряні сепаратори ефективно відокремлюють масляну пару від стисненого повітря, забезпечуючи чистіший вихід та ефективну рециркуляцію оливи.

- Правильне ущільнення запобігає потраплянню зовнішніх забруднень та витoku мастильних матеріалів.

Таким чином, міцні деталі повітряних компресорів є важливими для забезпечення безперебійної та ефективної роботи промислових підприємств. Надійні компоненти компресорів зменшують час простою, підвищують продуктивність та подовжують термін служби обладнання.

1.3. Як подовжити термін служби механічних запасних частин

У галузях, де ефективність та надійність мають першочергове значення, довговічність механічних запасних частин може означати різницю між безперебійною роботою та дорогими простоями. У виробництві автомобільній, сільськогосподарській чи енергетичній галузях, потреба в продовженні терміну служби механічних запасних частин ще ніколи не була такою великою. Завдяки належному проектуванню, технічному обслуговуванню та вибору матеріалів підприємства можуть максимізувати довговічність та ефективність своїх критично важливих компонентів.

Розуміння причин зносу

Механічні компоненти працюють під високим навантаженням, екстремальними температурами та постійним тертям. Зносу та деградації сприяють кілька факторів:

- **Тертя та стирання** – безперервний рух об інші компоненти може призвести до ерозії поверхонь.
- **Корозія** – Вплив вологи, хімічних речовин або умов навколишнього середовища може пошкодити металеві поверхні.
- **Втома** – повторювані цикли напружень з часом послаблюють матеріали, що призводить до тріщин та руйнувань.
- **Неправильне змащення** – відсутність змащення або використання неправильного типу може прискорити знос.

- **Виробничі дефекти** – неправильний вибір матеріалу або неоптимальна обробка можуть скоротити термін служби деталі.

Стратегії продовження терміну служби механічних запасних частин

1. Точна інженерія та високоякісні матеріали

Основа довговічності механічних деталей лежить в їхній конструкції та складі матеріалів. Використання високоефективних сплавів, композитів та сучасних покриттів може підвищити довговічність. Наприклад, інконель та титанові сплави відомі своєю стійкістю до екстремальних температур та корозії, що робить їх ідеальними для промислового застосування.

2. Регулярне профілактичне обслуговування

Планові перевірки та технічне обслуговування можуть виявити ранні ознаки зносу, перш ніж вони переростуть у поломки. Прогнозоване технічне обслуговування з використанням датчиків на базі Інтернету речей може надавати дані про стан компонентів у режимі реального часу, дозволяючи підприємствам замінювати деталі до виникнення поломок.

3. Сучасні методи обробки поверхонь та покриття

Нанесення захисних покриттів, таких як керамічні, PVD (фізичне осадження з парової фази) або DLC (алмазоподібно-вуглецеві покриття), може значно підвищити стійкість до зносу та корозії. Такі галузі промисловості, як автомобільна, нафтогазова та оборонна, покладаються на ці обробки для продовження терміну служби своїх деталей.

4. Правильне змащування та управління рідинами

Використання правильних мастильних матеріалів для конкретних умов експлуатації зменшує тертя та розсіює тепло, запобігаючи передчасному зносу. Синтетичні мастильні матеріали часто перевершують звичайні, особливо в умовах високого навантаження та високих температур.

5. Оптимізоване зберігання та обробка

Належні методи зберігання запобігають передчасній деградації. Компоненти слід зберігати в умовах контрольованого клімату, щоб уникнути впливу

вологості, ультрафіолетового випромінювання та забруднюючих речовин, які з часом можуть послабити цілісність матеріалу.

6. Точна обробка та допуски

Точна обробка забезпечує бездоганну сумісність запасних частин з вузлами, зменшуючи точки напруження та нерівномірний знос. Обробка на верстатах з ЧПК (числове програмне забезпечення) та 3D-друк забезпечують точне виробництво, що підвищує довговічність та продуктивність.

7. Відновлення та переробка компонентів

Замість заміни зношених деталей, відновлення та реконструкція можуть повернути їх до стану, як нові, за значно меншу ціну. Такі методи, як зварювання, лазерне напилення та термічне напилення, широко використовуються в таких галузях, як аерокосмічна та важке машинобудування, для подовження терміну служби деталей.

Майбутнє довговічності механічних запасних частин

Досягнення в нанотехнологіях, прогнозованому обслуговуванні на основі штучного інтелекту та адитивному виробництві революціонізують підхід галузей до довговічності запасних частин. Розумні матеріали, що самовідновлюються, алгоритми штучного інтелекту, які прогнозують збої до їх виникнення, та 3D-друк запасних частин на вимогу мають на меті трансформувати стратегії промислового обслуговування.

Таким чином, збільшення терміну служби механічних запасних частин – це не лише скорочення витрат, а й підвищення ефективності, підвищення сталості та забезпечення безперебійної роботи. Використовуючи високоякісні матеріали, передові стратегії технічного обслуговування та передові технології, промисловість може значно продовжити термін служби своїх основних компонентів.

1.4. Відновлення та реновація деталей типу вали

Під час роботи та навіть в період зупинки вали роторних машин (компресорів, насосів, центрифуг тощо) зношуються. Основною причиною зношування поверхневих шарів валів компресорів є абразивне зношування, коли поверхня валу контактує з твердими частинками, які потрапляють в робочий простір завдяки поганим (застарілим) ущільненням або є продуктом зношених часток. Також абразивні частинки можуть попасти з мастилом. Іншими видами зношування поверхневих шарів валів може бути: хімічна корозія, фреттинг корозія, окислювальне зношування та інші. Результатом зношування поверхонь валів може бути зупинка компресора, а іноді може привести до складної аварії і пов'язаних з цим великих втрат на виробництві. Як правило, в серйозних господарствах механіки мають в своєму запасі новий, або відновлений вал, на случай виходу з ладу того, знаходиться в працюючому компресорі.

Для відновлення поверхневих шарів валів компресорів використовують технології: газотермічного напилювання, наплавлення, гальванічного нарощування. В останні роки поверхневі шари валів відновлюють шляхом нанесення полімерних матеріалів (ПМ).

Розглянемо більш детально цей метод [3]:

На рисунку 1.5 представлена зношена підшипникова шийка валу.



Рисунок 1.5 - Зношена підшипникова шийка валу

Щоб максимально знизити час на відновлення підшипникових шийок валів в сучасних ремонтних технологіях все більшого розповсюдження знаходить метод нанесення ПМ серії «Belzona-1000» (рис. 1.6), завдяки якому технологію відновлення можливо проводити незначний час і практично на робочому місці, що значно знижує, пов'язані з цим витрати для підприємства.



Рисунок 1.6 – Покриття, типу Belzona, нанесене на підшипникову шийку валу

Технологія ремонту валів Belzona вимагає, щоб поверхня була підготовлена для отримання грубого нерівного профілю. Потім продукт легко наноситься за допомогою простих ручних інструментів і дає йому затвердіти. Оскільки пастоподібні суміші Belzona чутливі до тепла, весь процес затвердіння можна прискорити шляхом додавання тепла до відремонтованої поверхні. Це допомагає скоротити час ремонту та дозволяє валам швидко повернутися до роботи, таким чином мінімізуючи час простою.

Відновлення підшипникової шийки валу, за допомогою «Belzona 1111», виконують в наступній послідовності:

1. Спочатку ретельно очищують і знежирюють зношену (пошкоджену) поверхню підшипникової шийки валу.



2. Потім, за допомогою шліфувальної машинки, заглиблюють зношену ділянку валу на 1,50 мм.



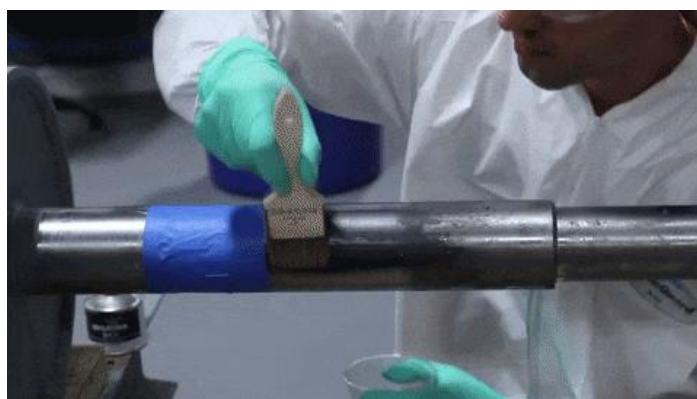
3. Заглиблену поверхню очищують і знежирюють за допомогою очищувача/знежирювача «Belzona 9111».



4. Застосовують спеціальний роздільний агент (розчин «Belzona-9411»), який наносять на поверхню «хомута» і який не дозволяє схоплюватись поверхні хомута з покриттям.



5. Наносять роздільний агент (розчин «Belzona - 9411») на поверхню валу біля зони ремонту.



6. Проводять змішування двокомпонентної епоксидної пасту «Belzona 1111».



7. На поверхню «хомута наносять суміш епоксидної пасту «Belzona 1111».



8. Таку саму суміш епоксидної пасту «Belzona 1111» наносять на зношену шорстку поверхню валу.



9. При нанесенні суміші епоксидної пасту «Belzona 1111» на зношену шорстку поверхню валу потрібно по центру нанесеного шару сформувати пік.



10. Тепер потрібно на нанесеній суміші епоксидної пасту «Belzona 1111» навколо валу розташувати «хомут».



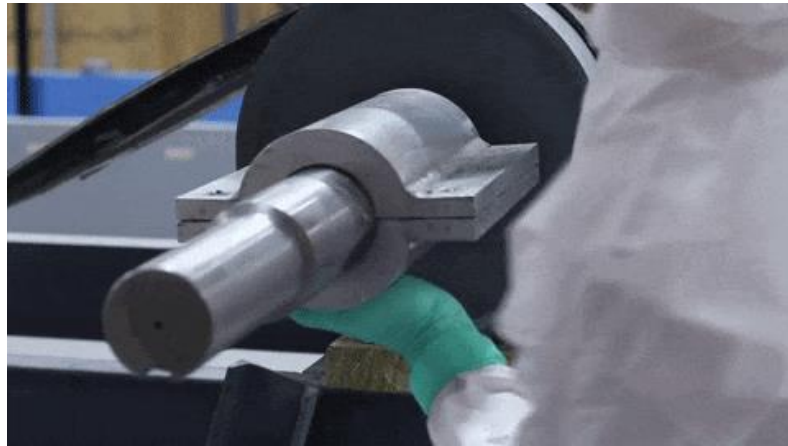
11. Після цього потрібно «хомут скріпити болтами.



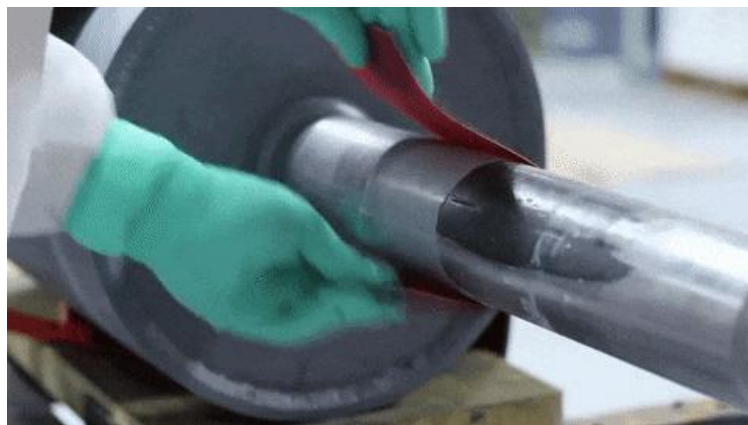
12. Матеріал, який видавився з під половинок «хомута, потрібно видалити.



13. Після того як пройшов процес затвердіння, болти видаляються з «хомута».



14. Сформована відновлена поверхня валу зачищається наждачною бумагою.



Слід відмітити, що технологію відновлення деталей за допомогою епоксидного розчину «Belzona» можливо використовувати не тільки для валів, а і для інших деталей, втулок, муфт тощо.

Використовуючи технологію відновлення валів, за допомогою епоксидного розчину «Belzona», треба знати, що при примусовому підвищенні шорсткості на ділянці валу, яку треба відновлювати, з'являється безліч концентраторів напружень, які знижують втомлювальну міцність валу, твердість нанесеного шару покриття не висока.

1.5. Висновки:

1. Завдяки проведеному аналізу встановлено, що повітряні компресори найшли широке застосування в фермерських господарствах.
2. Визначено, що одною з основних причин зупинки повітряних компресорів є зношення їх відповідальних деталей типу тіл обертання: вали, вісі, втулки тощо.
3. Проведений детальний аналіз переваг і недоліків відновлювальної технології валів за допомогою епоксидного розчину «Belzona».

1.6. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є забезпечення надійності і довговічності відповідальних деталей повітряних компресорів для фермерських господарств, шляхом удосконалення відновлювальної технології за допомогою епоксидного розчину «Belzona».

Досягнення мети дипломної роботи відбудеться завдяки вирішенню наступних завдань:

- провести аналіз використання і умови роботи повітряних компресорів для фермерських господарств;
- розглянути існуючі сучасні технології відновлення і зміцнення відповідальних деталей повітряних компресорів;
удосконалити існуючу відновлювальну технології, за допомогою епоксидного розчину «Belzona»;
- розробити методику проведення експериментальних і порівняльних досліджень.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ПОВІТРЯНИХ КОМПРЕСОРІВ

2.1. Існуючі сучасні технології відновлення і зміцнення відповідальних деталей компресорів

Сьогодні побутова техніка є важливою частиною повсякденного життя. Все більша кількість товарів викидається або усувається із закінченням терміну служби та зростанням потреб людей. Компресор, як основний компонент побутової техніки, такої як холодильники та кондиціонери, є продуктом з відносно високою доданою вартістю. Наразі відпрацьовані компресори в основному демонтуються та переробляються, що не лише призводить до величезної втрати ресурсів, але й створює серйозне навантаження на навколишнє середовище. Реконструювання – це більш економічний та екологічно чистий підхід до утилізації відходів, ніж переробка матеріалів [4].

Реконструювання – це процес повернення використаного продукту принаймні до його початкової продуктивності або кращої, ніж у щойно виготовленого продукту [5]. Порівняно з новими продуктами, відновлені продукти можуть економити енергію та матеріали, а також зменшувати викиди

відходів [4, 5]. Процес відновлення включає перевірку, розбирання, очищення та випробування використаних виробів, а потім відновлення несправних деталей, використовуючи передові технології, і, нарешті, повторне складання в нові вироби [6].

У сфері автомобільних двигунів, трансмісій, будівельної техніки та інших продуктів з високою доданою вартістю процес відновлення досяг більшого прогресу та сформував певний промисловий масштаб. Однак у випадку продуктів з низькою доданою вартістю, таких як вживана техніка, досвід автомобілів та будівельної техніки не може бути повністю запозичений через вищі економічні вимоги процесу відновлення.

Однак, з популярністю холодильників, кондиціонерів та іншої побутової техніки, кількість вживаних компресорів зростає з року в рік, а традиційні методи переробки більше не адаптуються. В останні роки, з вимогою щодо збереження ресурсів та захисту навколишнього середовища, масштаби відновлення компресорів поступово розширюються. Деякі виробники оригінального обладнання створили послуги, що пропонують варіанти повторного використання компресорів. Конструкція компресора не зазнала особливо кардинальних змін протягом десятиліть, що свідчить про його особливу придатність для відновлення. Поломки компресорів пов'язані з такими компонентами, як *двигуни, підшипники та вали*. Ці компоненти піддаються сильнішому зносу, ніж інші. Тому вони є ключовими компонентами, що потребують відновлення. Процес відновлення на основі технічних характеристик компресорів для побутової техніки базується на формі відходів продукції в поєднанні з міркуваннями екологічності, економії та виробничої доцільності відновлення; це дозволяє проводити стандартизоване пакетне відновлення компресорів.

2.1.1. Відновлення і зміцнення деталей методом електроіскрового легування (EIL)

Електроіскрове наплавлення (ESD) використовується для прецизійного ремонту високоцінних зношених компонентів у невеликих масштабах за

допомогою імпульсного мікрозварювання. Електроіскрове наплавлення також відоме як імпульсне наплавлення електродів, імпульсне наплавлення плавленням, електроіскрове легування, електроіскрове зміцнення та іскрове гартування. У промисловості його використовують для ремонту дефектів в інструментах для лиття під тиском, ливарних формах, зношених поверхнях деталей при відновленні [7-10].

Системи ESD мають конденсаторне джерело живлення, яке генерує імпульси через обертовий дротяний витратний електрод. Ці імпульси мають високий струм за дуже короткий час. Матеріал витратного електрода (анода) осідає на заготовці (катоді) через електричну іскру.

ESD, що застосовується до металевих сплавів [7, 11-14]

Високотемпературна плазмова дуга генерується між кінчиком електрода та заготовкою з металевого сплаву постійним струмом, коли вивільняється енергія конденсатора. Ця висока температура коливається від 8000 до 25000°C. Плазмова дуга іонізує анод, і цей розплавлений матеріал потім швидко переноситься на заготовку.

Цей іонізований анод переноситься на підкладку за допомогою коротких імпульсів. Високотемпературна дуга складається з частинок анода, теплового потоку (теплового струменя) та плазми (що утворюється внаслідок розкладання газів та активних атомів азоту, кисню та вуглецю). Основна частина тепла переноситься тепловим струменем та плазмою.

Оскільки імпульси короткі, теплопередача через тепловий струмінь та інші гази мінімальна, і єдина теплопередача до підкладки відбувається через невелику кількість мікрочастинок анода, нанесених на підкладку. Таким чином, ці імпульси надають невелике теплове навантаження підкладці, що призводить до відсутності змін її мікроструктури. Цей метод може бути більш вигідним, ніж процеси зварювання плавленням, які зазвичай використовуються для ремонту сплавів з поганими властивостями зони термічного впливу (наприклад, низька в'язкість, висока твердість, ліквідаційне розтріскування).

Крім того, цей процес допомагає створити міцний металургійний зв'язок між підкладкою та покриттям. Мікролегування між розплавом електрода та основними матеріалами ініціює утворення плазми внаслідок розкладання повітрям, карбідів та нітридів.

Параметри розряду [7, 15-17]

Якість осадження залежить від конкретних параметрів розряду, таких як час імпульсу, струм та напруга, які залежать від хімічних та фізичних властивостей матеріалів на основі електродів пристрою. Отже, параметри залежать від типу осадження електродів, температурної залежності, текучості, електричного опору, густини, коефіцієнта дифузії, хімічної реакційної здатності анодних елементів, теплопровідності та температур плавлення.

Переваги ЕІЛ [18-20]

Існує кілька переваг, пов'язаних із застосуванням ЕІЛ до металевих сплавів. Наприклад, не потрібна спеціальна підготовка поверхні заготовки. Наплавлений шар набуває специфічних аморфних властивостей завдяки високій швидкості затвердіння, і він може не потребувати подальшої обробки. Методом ЕІЛ можна легко наносити на поверхню складної деталі, що дозволяє напилювати у суворо визначених місцях. Як металеві сплави, так і чисті метали можна використовувати як електроди. ЕІЛ дозволяє використовувати для напилення тверді плавкі сполуки та металокераміку.

Ще однією перевагою ЕІЛ, що застосовується до металевих сплавів, є відсутність нагрівання зразка в процесі осадження. Крім того, ЕІЛ забезпечує процедури, безпечні для навколишнього середовища, виключаючи використання отруйних неметалевих матеріалів, таких як ціанід, у процесі нанесення покриття. Більше того, обладнання дуже просте, а якість добавок визначає витрати, пов'язані з ЕІЛ [7, 20].

Ще однією перевагою процедури ЕІЛ є дуже низька щільність тепла деталі, що допомагає зберегти властивості основного матеріалу та його хімічний склад. Тонкі шари, утворені методом ЕІЛ, поділяються на два підшари. Внутрішній дифузний шар має результуючі властивості як основного, так і доданого

матеріалу, тоді як поверхневий або зовнішній шар має сильно модифіковану структуру. ЕІЛ також підвищує ерозійну та зносостійку поверхню невеликих ділянок (рис. 2.1).

Обмеження

ЕІЛ ідеально підходить для ремонту неглибоких та незначних дефектів; однак, він не підходить для великих дефектів через повільність процесу та максимальну товщину покриття ~2 мм.

Іноді геометрія підкладки обмежує покриття. Контакт між електродом і поверхнею підкладки необхідний для електростатичного розряду, але деякі геометрії поверхні не дозволяють такого контакту; тому покриття наноситься лише на суміжні ділянки.



Рисунок 2.1 - Відновлення зношеної ділянки валу при механізованій обробці методом ЕІЛ

Характеристики нанесених шарів визначаються такими параметрами процесу, як тиск на кінчик електрода, кількість проходів по кожній ділянці підкладки, температура, частота, тривалість іскри, енергія іскри тощо. Хвилястість поверхні з періодом, меншим за діаметр електрода, може призвести до того, що покриття буде утворюватися лише на піках. Деякі параметри напилення можуть призвести до недостатнього початкового покриття, залишаючи деякі частини непокритими. Коли дуга досягає найближчої поверхні, з наступними проходками та шарами продовжуватиме утворюватися лише найвищі точки. Рішенням цієї проблеми є вибір оптимального режиму роботи за допомогою відповідних параметрів.

2.1.2. Відновлення і зміцнення деталей методом поверхневої пластичної деформації

Покращення матеріалів відіграє важливу роль у повсякденному житті завдяки своєму впливу на якість товарів, які ми, споживаємо, купуємо та використовуємо. Передові технології обробки відіграють ключову роль в автомобільній, аерокосмічній, біомедичній та інших галузях промисловості та є невід'ємною частиною машинобудування. Одна з найважливіших груп передових технологій обробки базується на пластичній деформації [21]. Хоча за останні десятиліття в цій галузі було досягнуто вражаючого прогресу як в приладобудуванні, так і в теорії, академічні та промислові дослідники все ще стикаються з низкою проблем, і низка важливих питань ще потребує вирішення, таких як:

Як ми можемо підвищити продуктивність і, водночас, знизити виробничі витрати, зберігаючи при цьому високу якість продукції?

Як можна використовувати пластичну деформацію в обробці виробів за допомогою адитивних технологій?

Які матеріали найкраще використовувати для виготовлення інструментів?

Відповідь на ці питання є критично важливою для глибокого та проникливого розуміння як нових процесів пластичної деформації, таких як, наприклад, поступова пластична деформація, подрібнення, нано-вигладжування, широке вигладжування та вигладжування з низькою пластичністю, так і традиційних процесів пластичної деформації, таких як екструзія, витягування та гнуття.

Вигладжування – це процес пластичної деформації, в якому поверхня заготовки покращується завдяки ковзному контакту з інструментом, який називається полірувальною машиною.

У статті, авторами якої є Бобровський та ін. [22], обговорюється вплив початкової шорсткості поверхні R_a на властивості заготовки, що оброблюється,

та загальну енергоефективність процесу оброблення. В експериментальній частині їхньої роботи було досліджено характер тертя в зоні контакту та вплив сили затиску на стабільність та енергоефективність. Отримані результати показали, що характер тертя, що супроводжує пластичну деформацію поверхні, має значний вплив на стабільність та енергоефективність процесу оброблення. Хоча сила затиску виявилася однаково важливою для оброблення зі змащенням та без нього, початкова шорсткість (R_a) мала значний вплив лише на сухе оброблення.

Встановлено, що застосування мінімальної кількості змащення в експериментальних умовах, типових для промислового оброблення, не тільки підвищує стабільність процесу оброблення, але й збільшує його енергоефективність більш ніж на 20%.

У другій статті Ллума та ін. [23] досліджували поверхневе зміцнення, яке виникає після вібраційного кульового вигладжування, та його вплив на розтягувальні властивості вуглецевої сталі. Автори виявили, що кульове вигладжування впливає на матеріал заготовки через пластичну деформацію на глибину до сотих мікрометрів. Вони також показали, що збільшення попереднього навантаження при вигладжуванні зменшує пластичні властивості матеріалу та збільшує його загальну міцність, тоді як частка ураженого матеріалу в поперечному перерізі зразка зменшується відносно всієї поверхні. Вони також виявили, що вплив вібрацій зменшується зі збільшенням попереднього навантаження, і, таким чином, вплив статичного попереднього навантаження набуває більшої значущості у зміні макроскопічних механічних властивостей сталевого сплаву.

Херес-Меса та ін. [24] повідомили про вплив кульового полірування з використанням ультразвукової вібрації на топологічні дескриптори нікелевого сплаву Udimet ® 720. Цей матеріал представляє великий інтерес для транспортної галузі, особливо для авіаційного сектору. У цій статті було використано різні дескриптори поверхні, щоб показати, як змінюється топологія

після кульового полірування з використанням ультразвукової вібрації, а також як умови полірування впливають на спостережувані зміни. Попереднє навантаження при поліруванні та кількість проходів виявилися ключовими факторами, що впливають на властивості поверхні заготовки. Ступінь, до якої поверхні заготовки можуть бути успішно модифіковані, є дуже мінливою та сильно залежить від початкового масштабу оброблюваної поверхні. Результати вібраційного полірування показують, що отримані топології характеризуються періодичним візерунком повторюваних піків та западин, які присутні на поверхні заготовки з вищою частотою порівняно з процесом без допомоги.

Аміні та ін. [25] використовували процес вигладжування для покращення поверхні матеріалу після зварювання тертям з перемішуванням. Металургійний та топологічний стан матеріалів, з'єднаних цією технікою зварювання, зазвичай негативно впливає на подальші експлуатаційні характеристики заготовки. Було виміряно та обговорено покращення топології та розподілу твердості по глибині, а еволюцію механічних властивостей ретельно оцінено за допомогою випробувань на розтяг. Крім того, автори оцінили залишкові напруження, поєднавши дві існуючі моделі зварювання тертям з перемішуванням та вигладжування, розроблені за допомогою програмного забезпечення ANSYS® . Було показано, що вигладжування кулями є ефективним методом підвищення цілісності поверхні з'єднань, зварених тертям з перемішуванням, про що свідчить зменшення середньої шорсткості на 11% до 36% та збільшення профілю твердості приблизно на 22%.

Бобровський та ін. [26] розробили нову математичну модель коефіцієнтів у законі тертя зсуву Кулона для екструзії металу через вузькі V-подібні канали з малими кутами конвергенції, яку було оцінено та порівняно з лабораторними вимірюваннями. Коефіцієнт тертя Кулона μ та коефіцієнт постійного тертя m , здається, не залежать від співвідношення розмірів і переважно залежать від шорсткості, і вони коливаються від $\mu = 0,363$ (зі мастилом) до $\mu = 0,488$ (без мастила) та від $m = 0,726$ (зі мастилом) до $0,99$ (без мастила). Відносна довжина, на яку домінує закон тертя Кулона, становить менше 1%, а коефіцієнт тертя

Таким чином, методом ППД можна знизити шорсткість поверхневого шару, нанесеного методом ЕІЛ покриття, а також підвищить втомлювальну міцність валу [22].

2.1.3. Відновлення деталей методом нанесення полімерних матеріалів

Корпусні деталі є основними компонентами довговічності, що визначають довговічність машини. Знос посадкових отворів у корпусі коробки передач призводить до перекошу кілець підшипників, валів із шестернями, їх підвищеного зносу та різкого скорочення ресурсу. Посадкові отвори корпусних деталей відновлюються шляхом встановлення додаткової деталі, електродугового зварювання, електроконтактного зварювання сталеві стрічки, прасування або хромування. Однак, ці методи не забезпечують стійкості до фретингу відремонтованих посадкових отворів. Способи відновлення із застосуванням полімерних матеріалів усувають фретингову корозію та збільшують термін служби корпусних деталей та підшипникових вузлів.

Розвиток вітчизняної хімічної промисловості супроводжується постійним випуском нових перспективних полімерних матеріалів різного призначення. Формується сприятливе середовище для розробки високопродуктивних технологій відновлення, що забезпечують збільшення терміну служби корпусних деталей, надійність сільськогосподарської техніки та зменшення витрат на технічне обслуговування.

Методи відновлення посадкових отворів з використанням полімерних матеріалів визначають простоту та низьку вартість, виключають виникнення фретинг-корозії, збільшують термін служби корпусних деталей та підшипникових вузлів. Аналіз показав, що найтехнологічнішим методом відновлення є нанесення полімерного покриття на зношену поверхню посадкових отворів.

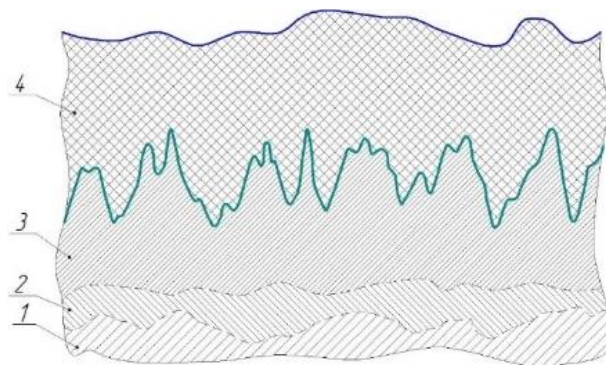
Слід відмітити, що завдяки полімерним матеріалам можливо відновлювати не тільки посадкові поверхні отворів, а також посадкові поверхні валів [3].

2.2. Удосконалення технології відновлення зношених поверхонь валів компресорів

Аналіз літературних наукових робіт згідно сучасних методів відновлення поверхонь деталей показав, що на сьогодні, найбільш перспективними методами можуть бути: електроіскрове легування (ЕІЛ), поверхневе пластичне деформування (ППД) і нанесення полімерних матеріалів (ПМ). Ці технології є екологічно безпечними, мало енергоємними та такими, що доповнюють одна іншу.

Методом ЕІЛ можна нанести на зношену поверхню твердий зносостійкий матеріал, наприклад, з твердого сплаву Т15К6. Потім, з метою зниження шорсткості і збільшення суцільності нанесеного шару, а також підвищення втомлювальної міцності, поверхню обробляють методом ППД (рис. 2.2).

На нанесене покриття наносять полімерний матеріал (рис. 2.3,а), який потім обробляють любым механічним способом (різанням, шліфівкою тощо) (2.3, б). При цьому з поверхні знімають скільки матеріалу, щоб забезпечити потрібний діаметр валу.



а

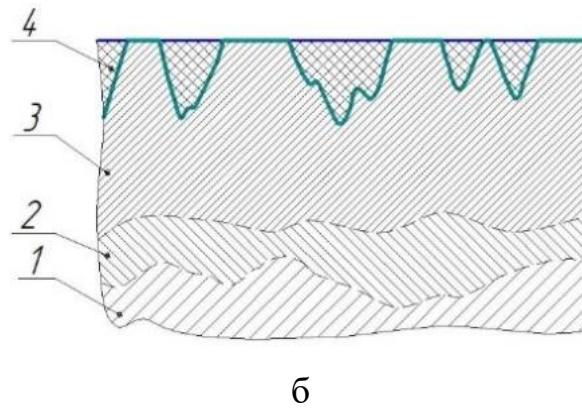


Рисунок 2.3 – Схеми відновлення поверхневого шару валу: а - комбіноване покриття (ЕІЛ+ППД+ПМ), б-покриття оброблене механічним способом (1- матеріал деталі, 2 – перехідний шар, 3 – шар ЕІЛ; 4 – шар ПМ)

Після механічної обробки нанесеного ПМ (рис. 2.4, а) відновлена поверхня складається з твердих ділянок з твердого сплаву Т15К6 і ділянок з полімерного матеріалу (див. рис. 2.4, б).

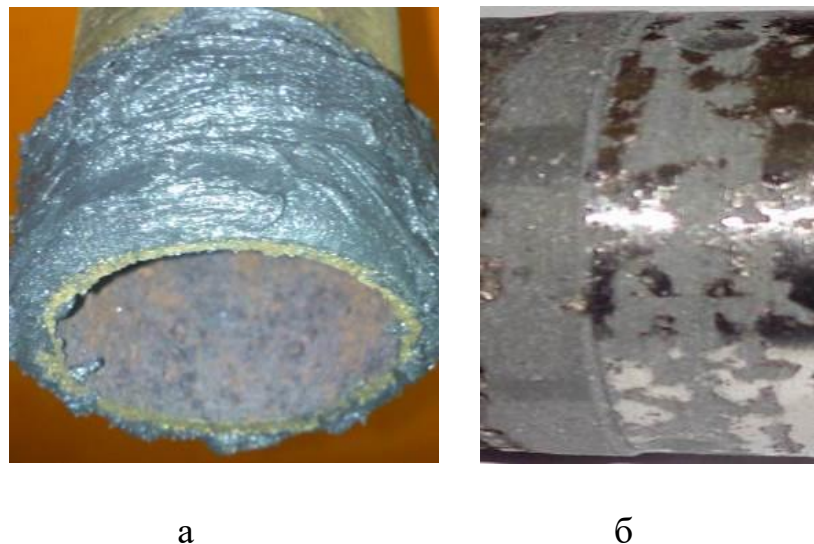


Рисунок 2.4 – Нанесений на поверхню валу ПМ (а) іпроточена поверхня (б)

2.3. Розробка методики проведення досліджень і проведення порівняльних іспитів

Для досліджень виготовляли круглі зразки зі сталі 40Х розміром $\text{Ø}50 \times L50$ мм. На поверхню зразка методом ЕІЛ на механізованій установці «ЕІЛ-9) наносили покриття електродами з твердого сплаву Т15К6 (рис. 2.5). Враховуючи те що в процесі легування електроди можуть зруйнуватись було виготовлено спеціальне пристосування для їх закріплення.

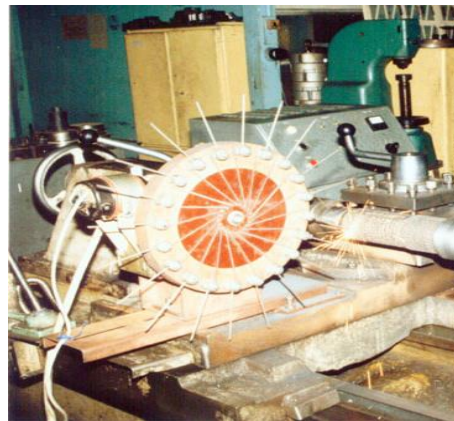


Рисунок 2.5 – Формування покриття на механізованій установці моделі «ЕІЛ-9»

Для вибору режимів нанесення покриття методом ЕІЛ використовували дані таблиці 2.1.

№ режиму	Товщина покриття мм	Струм, А	Ø електродів, мм ²
1	До 0,20	10	3,5-5,0
2	До 0,30	20	5,5-7,0
3	До 0,40	30	7,5-10

Дослідженню на зносостійкість піддалися зразки зі сталі 40Х, термооброблені на твердість НРС 30 - 35, відновлені різними технологіями:

- без покриття;
- нанесення покриття методом ЕІЛ з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6 з наступною обробкою кулькою (ОК) $\text{Ø} 10$ мм;

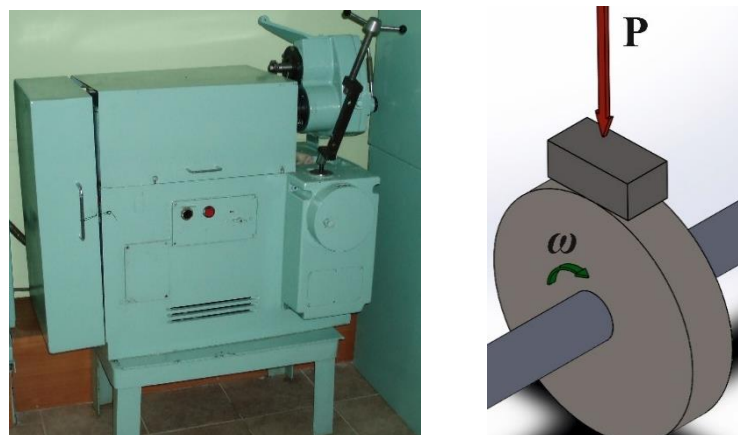
- нанесення покриття методом ЕІЛ з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6, наступної обробки алмазним вигладжуванням (АВ);

- нанесення покриття методом ЕІЛ з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6, наступної обробки АВ і нанесенні полімерного матеріалу «Belzona-1000»;

- нанесення покриття методом ЕІЛ з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6, наступної обробки АВ і нанесенні полімерного матеріалу «Belzona-1000» і подальшої механічної обробки шліфуванням.

Порівняльні іспити проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «кільце - плоский зразок» (рис. 2.6), який виконував роль контр тіла (прямокутний зразок з твердого сплаву ВК8 з шорсткість поверхні $R_a = 1,2$ мкм. При іспитах зразок частково занурювався в індустріальне мастило І40А.

При проведенні порівняльних іспитів досліджували лінійний знос зразків методом штучних баз і ваговий інтегральний знос з всій поверхні зразка, шляхом зважування до і після випробувань. Час іспитів був 8 годин при швидкості ковзання $v = 0,78$ м/с і навантаженні на контртіло $P = 100$ Н.



а

б

Рисунок 2.6 – **а** – фотографія машини тертя СМЦ-2; **б** – схема проведення порівняльних іспитів «кільце - плоский зразок»

Результати порівняльних іспитів представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2- Результати зношування зразків з сталі 40Х відновлених різними технологіями

Покриття	Знос	
	ваговий $\times 10^3$, кг	лінійний, мкм
Без покриття	0,416	28,511
ЕІЛ Т15К6 + ОК	0,132	6,012
ЕІЛ Т15К6 + АВ	0,070	4,006
ЕІЛТ15К6 + АВ+ ПМ	0,0631	3,806
ЕІЛТ15К6 + АВ+ПМ+ механічна обробка	0,056	3,4100

В результаті аналізу проведених порівняльних випробувань встановлено, що краща зносостійкість визначена в зразках зі сталі 40Х, відновлених за допомогою комбінованої технології, яка складається з нанесення покриття методом ЕІЛ з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6, наступної обробки АВ і нанесенні полімерного матеріалу «Belzona-1000» і подальшої механічної обробки шліфуванням.

2.4. Висновки по розділу 2:

1. Проведений аналіз літературних джерел, дозволив серед сучасних методів відновлення поверхневих шарів деталей (гальваніка, наплавлення, наварювання, напилювання тощо) обрати найбільш перспективні, екологічно безпечні і доповнюючі одна іншу технології ЕІЛ, ППД і нанесення ПМ.

2. В результаті розроблення методики досліджень і проведення порівняльних іспитів за схемою «диск-плоский зразок» визначено, що кращою технологією, проти абразивного зношування є: ЕІЛ Т15К6 + АВ+ПМ+ механічна обробка.

3. Порівняльними дослідженнями встановлено, що лінійний і ваговий знос зразків відновлених комбінованою технологією ЕІЛ, з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6, наступним алмазним вигладжуванням і нанесенням полімерного матеріалу «Belzona-1000» з подальшою механічною обробкою шліфуванням, відповідно в 7,4 і 8,4 рази менше зразків без покриття; в 2,4 і 1,8 раз менше чім ЕІЛ, з наступною обробкою кулькою; в 1,3 і 1,2 рази чім ЕІЛ, з наступним алмазним вигладжуванням і 1,1 і 1,1 рази чім ЕІЛ, з наступним алмазним вигладжуванням і нанесенням ПМ.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

3.1. Загальні положення.

1.1. Ця інструкція визначає основні положення та вимоги охорони праці, які спрямовані на збереження життя та здоров'я працівників.

1.2. Інструкція визначає порядок виконання безпечних прийомів та методів роботи під час роботи з компресорними агрегатами (далі – компресори), що

містяться в частині, та призначена для навчання, інструктажів та перевірки знань з питань охорони праці.

1.3. Працівники, допущені до роботи з компресорами, проходять інструктаж згідно з цим посібником перед початком роботи (початкове навчання) та потім кожні 3 місяці (перепідготовка). Результат інструктажу заноситься до «Журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці».

1.4. Інструкція дійсна протягом 3 років з дати затвердження.

1.5. Працівники, допущені до роботи з компресорами, зобов'язані знати та виконувати чинні інструкції, повинні виконувати лише ту роботу, яка доручена керівництвом підрозділу та для якої йому доручено, та не виконувати ті інструкції, що суперечать правилам охорони праці.

1.6. Навчання та атестація персоналу, що обслуговує посудини, повинні проводитися в навчальних закладах, навчально-курсівих комбінатах (курсах), а також на курсах, спеціально створених підприємствами, що мають дозвіл Держнагляду та охорони праці України. Індивідуальне навчання персоналу не допускається.

1.7. Посвідчення видаються особам, які склали іспити із зазначенням назви та параметрів робочого середовища посудин, до яких ці особи допущені.

1.8. Періодичні перевірки знань працівників, які обслуговують компресори, проводяться не рідше одного разу на 12 місяців.

1.9. Допуск працівників до самостійного обслуговування посудин оформлюється наказом за частиною.

1.10. До роботи з компресорами допускаються працівники, які пройшли відповідне навчання, пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці.

1.11. Керівник підрозділу повинен встановити процедуру, щоб персонал, допущений до роботи на компресорі, проводив ретельне спостереження за

дорученим йому обладнанням шляхом його огляду, перевірки роботи арматури, контрольньо-вимірювальних приладів, запобіжних та блокувальних пристроїв та підтримки посудин у справному стані. Результати огляду та перевірки повинні бути зафіксовані у змінному журналі.

1.12. Працівник повинен знати: • будову компресора, робочі параметри, принцип дії компресора, вимірювальні прилади та обладнання, порядок та терміни їх перевірки, експлуатаційні вимоги до них; • «Правила будови та безпечної експлуатації посудин під тиском»; • інструкції для особи, відповідальної за справний стан та експлуатацію компресора; • інструкції виробника компресора; • інструкції з виробництва щодо режиму експлуатації посудин та їх безпечного обслуговування для майстрів ГДЗС; • схему трубопроводів стисненого повітря (кисню), холодильників, водо-масловіддільників та інших пристроїв; • місця встановлення та схему контрольньо-вимірювальних приладів; • методи пошуку та усунення несправностей у роботі компресора; • схему встановлення; • інструкції з перевірки герметичності посудин, що працюють з газами або рідинами, небезпечними для людей; • «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів», «Правила безпечної експлуатації електроустановок» у частині, що стосується електрообладнання компресора. • способи (вміти) надання першої медичної допомоги при аваріях; правила користування первинними засобами пожежогасіння.

1.13. Залежно від характеру порушень, працівники, які допущені до роботи з компресорами, якщо вони не відповідають вимогам безпеки, викладеним у посібнику з охорони праці, підлягають дисциплінарній, матеріальній та кримінальній відповідальності відповідно до чинного законодавства.

1.14. Робоче місце під час роботи на компресорі: компресор з машиною, що заземлює коло, електричний провід, пусковий пристрій, манометр.

1.15. Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, які можуть впливати на працівника, є: • підвищена температура поверхні обладнання; • підвищений рівень шуму, вібрації на робочому місці; • дія рухомих

та обертових частин обладнання та механізмів • можливість ураження електричним струмом недостатнє освітлення робочої зони; • підвищене загазованість робочої зони. ВАУ: >>> Чому люди купують продукцію Apple: розкриття та аналіз секретів успіху. >>> Перший смартфон та його еволюція. >>> Чи небезпечний перегрів для iPhone? >>> Типи дронів та як їх використовувати. >>> Який термін служби сонячних панелей? 6 причин купити сонячні панелі.

1.16. Технічний стан компресора повинен відповідати вимогам стандартів, пов'язаних з безпекою праці, охороною навколишнього середовища, а також правилам технічної експлуатації, інструкціям заводів-виробників та іншій нормативно-технічній документації.

1.17. Відповідальність за забезпечення справного стану та безпечної експлуатації компресора покладається керівником підрозділу на членів старшого складу.

1.18. Працівник, який допущений до роботи на компресорі, повинен: • дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку; • пам'ятати про особисту відповідальність за дотримання правил охорони праці колегами по роботі; • виконувати лише ту роботу, на яку йому доручено та призначено керівником; • не виконувати інструкції, що суперечать правилам охорони праці; • користуватися спецодягом та засобами індивідуального захисту; • не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце; • вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим унаслідок нещасних випадків; • підтримувати чистоту та порядок на робочому місці.

3.2. Вимоги до приміщень компресорних установок:

2.1 Не допускається розміщення апаратів та обладнання, технологічно та конструктивно не пов'язаних з компресорами;

2.2. Підлога повинна бути рівною з неслизькою, нестійкою поверхнею.

2.3. Приміщення повинно бути обладнане вентиляцією.

2.4. Усі рухомі та обертові частини компресорів, електродвигунів та інших механізмів повинні бути надійно огорожені.

2.5. Корпуси компресорів повинні бути заземлені.

3.3. Усі компресорні установки повинні бути оснащені контрольно-вимірювальними приладами.

3.1. Манометри повинні мати клас точності не менше –1,5 при робочому тиску посудини понад 2,5 МПа (25 кгс/см²).

3.2. Манометри повинні мати таку шкалу, щоб при робочому тиску стрілка знаходилася в середній третині шкали.

3.3. На шкалі манометра повинна бути нанесена червона лінія, яка б вказувала робочий тиск у посудині. Замість червоної лінії допускається прикріплювати до корпусу манометра металеву пластину, пофарбовану в червоний колір і щільно прилягаючу до скла манометра.

3.4. Між манометром і посудиною має бути встановлено триходовий клапан або інший подібний пристрій, що дозволяє періодично перевіряти манометри за допомогою контрольного манометра

3.5. Манометр не дозволяється використовувати у випадках, коли:

3.5.1 Відсутня пломба, або штамп з позначкою про перевірку.

3.5.2. Закінчився термін повірки.

3.5.3. Стрілка манометра під час його вимкнення не повертається до нульової позначки шкали на величину, що перевищує половину її похибки (хибки), що допускається для цього приладу.

3.5.4. Розбите скло або є інші пошкодження, які можуть вплинути на правильність його показань.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ
ПОВЕРХОНЬ ВАЛІВ КОМПРЕСОРИВ

4.1. Нормування технології нанесення покриття на поверхні валів компресорів (ВК)

Перелік матеріалів потрібних для нанесення покриттів на поверхні ВК (табл.4.1).

Таблиця 4.1 – Матеріали та обладнання для нанесення покриттів на поверхні ВК

Обладнання	Вартість, грн
Установка «ЕІЛ-9»	35000
Інше	
Електроенергія, кВт/год	40,0
Твердий сплав Т15К6	10,0
Σ	35050

Поверхня ВК, на яку потрібно наносити покриття = 500 см²

4.2 Розрахунок собівартості зміцнення

Собівартість виготовлення 1,0 валу компресора без покриття

$$C_{\text{баз}} = 50,0 \text{ грн.}$$

Термін роботи 1,0 ВК без покриття складає

$$T_{\text{баз}} = 0,3 \text{ рок.}$$

Собівартість затрат для зміцнення 1,0 ВК буде:

$$C_{\text{мат}} = 10,0 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна собівартість ВК буде:

$$C_{\text{нов}} = C_{\text{баз}} + C_{\text{мат}} = 50,0 + 10 = 60,0 \text{ грн} \quad (4.1)$$

Враховуючи, що 1 ВК буде працювати в п'ять разів довше, то

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{баз}} \times 5 = 0,3 \times 5 = 1,50 \text{ рок.} \quad (4.2)$$

4.3. Розрахунок економічної ефективності

$$E = C_{\text{баз}} : T_{\text{баз}} - C_{\text{нов}} : T_{\text{нов}} = 50 : 0,3 - 60 : 1,5 = 127,0 \text{ грн} \quad (4.3)$$

4.4 Розрахунок окупності капітальних витрат, (Фок)

$$\Phi_{\text{ок}} = C_{\text{об}} : E = 35050 : 127 = \sim 276 \text{ шт.}, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{об}} = 35050$ грн (табл. 4.1)

Згідно того, що два працівника за добу зміцнюють приблизно 10,0 валів компресорів, то добова окупність складе:

$$T_{\text{доб}} = \Phi_{\text{ок}} : 10 = 276 : 10 = \sim 28 \text{ діб.}$$

Таким чином. Економічна ефективність нової технології відновлення валів компресорів буде 127,0 грн на один вал компресору, а окупність задіяного обладнання $\sim 28,0$ діб.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Завдяки проведеному аналізу встановлено, що повітряні компресори найшли широке застосування в фермерських господарствах.
2. Визначено, що одною з основних причин зупинки повітряних компресорів є зношення їх відповідальних деталей типу тіл обертання: вали, втулки тощо.
3. Проведений детальний аналіз переваг і недоліків відновлювальної технології валів за допомогою епоксидного розчину «Belzona».
4. Проведений аналіз літературних джерел, дозволив серед сучасних методів відновлення поверхневих шарів деталей (гальваніка, наплавлення, наварювання,

напилювання тощо) обрати найбільш перспективні, екологічно безпечні і доповнюючі одна іншу технології ЕІЛ, ППД і нанесення ПМ.

5. В результаті розроблення методики досліджень і проведення порівняльних іспитів за схемою «диск-плоский зразок» визначено, що кращою технологією, проти абразивного зношування є: ЕІЛ Т15К6 + АВ+ПМ+ механічна обробка.

6. Порівняльними дослідженнями встановлено, що лінійний і ваговий знос зразків відновлених комбінованою технологією ЕІЛ, з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6, наступним алмазним вигладжуванням і нанесенням полімерного матеріалу «Belzona-1000» з подальшою механічною обробкою шліфуванням, відповідно в 7,4 і 8,4 рази менше зразків без покриття; в 2,4 і 1,8 раз чім ЕІЛ, з наступною обробкою кулькою; в 1,3 і 1,2 рази чім ЕІЛ, з наступним алмазним вигладжуванням і 1,1 і 1,1 рази чім ЕІЛ, з наступним алмазним вигладжуванням і нанесенням ПМ.

7. Результати досліджень опубліковані в 2-х статтях (додаток Б)

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. <https://remsintez.com.ua/ua/p1970722528-seyalka-zernovaya-pryamogo.html>
2. https://www.agronom.com.ua/wp-content/uploads/2024/01/Pryntsypy-efektyvnogo-obpryskuvannya_rys-5_-scaled.jpg
3. Відновлення зношених валів за допомогою методу формування
<https://blog.belzona.com/worn-shaft-repair/>
4. Техногенна безпека АЕС: Навч. посібн.; Ч. II / Д. О. Чалий, А. Б. Тарнавський, Р. Ю. Сукач, Р. Б. Веселівський; Держ. служба України з

надзвичайних ситуацій; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. – Львів: Каменяр, 2020. – 340 с.

5. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості: монографія/ В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, та ін.; за ред. В. Б. Тарельника, Є.В. Коноплянченка. - Суми: Видавництво «ФЛП Литовченко Е.Б.», 2020.- 410 с.- Українською мовою.

6. Тарельник В.Б, Коноплянченко Є.В., Гапонова О.П, Тарельник Н.В. Забезпечення захисту поверхонь торцевих імпульсних ущільнень турбомашин шляхом формування зносостійких наноструктур: монографія / під загальн. ред. В.Б. Тарельника. Суми: Університетська книга. 2022. 260 с.

7. Khan, Taha. (2022, December 12). Electro-Spark Deposition Applied to Metal Alloys. AZoM. Retrieved on August 14, 2025 from <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=21579>.

8. O. Umanskyi, M. Storozhenko, G. Baglyuk, O. Melnyk, V. Brazhevsky, O. Chernyshov, O. Terentiev, Yu. Gubin, O. Kostenko, I. Martsenyuk. Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 59, №7-8: 434–444 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00177-y>

9. Manea, C. A., Sohaciu, M., Stefănoiu, R., Petrescu, M. I., Lungu, M. V., & Csaki, I. (2021). New HfNbTaTiZr High-Entropy Alloy Coatings Produced by Electrospark Deposition with High Corrosion Resistance. Materials, 14(15), 4333. <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/15/4333>

10. Twi-global, What is electro-spark deposition (ESD)?. [online] Available at: <https://www.twi-global.com/>

11. M. Bembenek, P. Prysyzhnyuk, T. Shihab, R. Machnik, O. Ivanov, and L. Ropyak, Materials, 15, No. 14: 5074 (2022); <https://doi.org/10.3390/ma15145074>

12. B.O. Trembach, M.G. Sukov, V.A. Vynar, I.O. Trembach, V.V. Subbotina, O. Yu. Rebrov, O.M. Rebrova, and V.I. Zakiev, Metallofizika i Noveishie Tekhnologii, 44, No. 4: 493 (2022); <https://doi.org/10.15407/mfint.44.04.0493>

13. I. Ivasenko, V. Posuvailo, H. Veselivska, and V. Vynar, International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 2: 9321900 (2020); <https://doi.org/10.1109/CSIT49958.2020.9321900>
14. M. Bembenek, M. Makoviichuk, I. Shatskyi, L. Ropyak, I. Pritula, L. Gryn, and V. Belyakovskiy, *Sensors*, 22, No. 21: 8105 (2022); <https://doi.org/10.3390/s22218105>
15. M. Bembenek, M. Makoviichuk, I. Shatskyi, L. Ropyak, I. Pritula, L. Gryn, and V. Belyakovskiy, *Sensors*, 22, No. 21: 8105 (2022); <https://doi.org/10.3390/s22218105>
16. A.D. Pogrebnyak, A.A. Bagdasaryan, P. Horodek, V. Tarel'nyk, V.V. Buranich, H. Amekura, N. Okubo, N. Ishikawa, V.M. Beresnev, Positron annihilation studies of defect structure of (TiZrHfNbV)N nitride coatings under Xe¹⁴⁺ 200 MeV ion irradiation, *Materials Letters*, Volume 303, 2021, 130548, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130548>.
17. Спосіб обробки поверхонь сталевих деталей : пат. 121343 України на винахід, МПК (2020.01) В23Н 1/06 (2006.01) В23Н 9/00 С23С 12/02 (2006.01) / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В.; Тарельник Н. В., Думанчук М. Ю., Гончаренко М. В., Антошевський Б., Кундера Ч.; заявл. 29.05.2018; опубл. 12.05.2020, Бюл. № 9. 5 с.
18. Спосіб алітування сталевих деталей: пат. 153741 України на корисну модель, МПК (2006): В23Н 9/00, В23Н 1/00, С23С 8/60 (2006.01), С23С 10/48 (2006.01) / Гапонова О.П., Тарельник В.Б., Жиленко Т.І., Тарельник Н.В., опубл. 23.08.2023, Бюл. № 34.
19. V. B. Tarel'nyk, O. P. Gaponova, N. V. Tarel'nyk, and O. M. Myslyvchenko, *Aluminizing of Metal Surfaces by Electric-Spark Alloying*, *Progress in Physics of Metals*, 24, No. 2: 282–318 (2023) <https://doi.org/10.15407/ufm.24.02.282>
20. V.B. Tarel'nyk, O.P. Gaponova, V.B. Loboda, E.V. Konoplyanchenko, V.S. Martsinkovskii, Yu.I. Semirnenko, N.V. Tarel'nyk, M.A. Mikulina, and B.A. Sarzhanov, *Surf. Engin. Appl. 2 Electrochem*, 57: 173 (2021); <https://doi.org/10.3103/S1068375521020113>

21. Трав'єсо-Родрігес, Х. Антоніо та Ігор Бобровський. 2023. «Досягнення в технологіях пластичної деформації», *Метали* 13, № 7: 1194. <https://doi.org/10.3390/met13071194>
22. Бобровський, І.; Бобровський, Н.; Хаймович, А.; Трав'єсо-Родрігес, Дж. А. Вплив текстури поверхні та характеру тертя на енерго-силову ефективність пластичної деформації поверхні під час полірування. *Метали* 2022 , 12 , 1568. [Google Scholar] [CrossRef]
23. Льюма, Х.; Гомес-Грас, Г.; Херес-Меса, Р.; Рю-Маскарелл, Х.; Трав'єсо-Родрігес, Х.А. Механічне зміцнення сталевих листів S235JR за допомогою вібраційного кулькового полірування. *Метали* 2020 , 10 , 1010. [Google Scholar] [CrossRef]
24. Херес-Меса, Р.; Плана-Гарсія, В.; Льюма, Х.; Трав'єсо-Родрігес, Х.А. Покращення топології поверхні суперсплаву Udimet® 720 за допомогою ультразвукового вібраційного кулькового полірування. *Метали* 2020 , 10 , 915. [Google Scholar] [CrossRef]
25. Аміні, К.; Херес-Меса, Р.; Трав'єсо-Родрігес, Х.А.; Мусаві, Х.; Льюма-Фуентес, Х.; Занді, М.Д.; Хассаніфард, С. Кулькове полірування зварного тертям алюмінієвого сплаву 2024-T3 з перемішуванням: експериментальні та числові дослідження. *Метали* 2022 , 12 , 1422. [Google Scholar] [CrossRef]
26. Бобровський, І.; Хаймович, А.; Бобровський, Н.; Трав'єсо-Родрігес, Дж. А.; Гречніков, Ф. Виведення коефіцієнтів у кулонівському законі тертя зсуву з експериментальних даних про екструзію матеріалу в V-подібні канали з різними кутами збіжності: новий метод та алгоритм. *Метали* 2022 , 12 , 239. [Google Scholar] [CrossRef]
27. Zhou, M.; Hu, R.; Yang, J.; Wang, C.; Wen, M. Визначення конститутивного рівняння та карти термомеханічної обробки для чистого іридію. *Metals* 2020 , 10 , 1087. [Google Scholar] [CrossRef]

ДОДАТКИ