

Тема: «Удосконалення технології підвищення працездатності турбокомпресорів, задіяних на сільськогосподарських підприємствах»

Виконав: Ващенко Б.В.

Керівник: Тарельник В. Б.

ВСТУП

Повітряні компресори використовуються по всій країні в багатьох галузях промисловості, включаючи сільське господарство. На фермі повітряний компресор є цінним інструментом, так само як копач для стовпів паркану або всюдихід. Фермерський повітряний компресор можна використовувати для широкого спектру завдань.

Сьогодні фермери навіть продовжують знаходити нові та інноваційні способи використання повітряних компресорів. Якщо є робота, яку потрібно полегшити чи здешевити, ви можете розраховувати на те, що фермер знайде спосіб це зробити!

Сьогодні не тільки великі сільськогосподарські корпорації використовують повітряні компресори. Присадибники, фермери на присадибних ділянках і всі, хто зацікавлений у вирощуванні зернових або худоби, побачать, що повітряний компресор може полегшити їх роботу.

Існує багато інших застосувань повітряних компресорів у фермах. Фермери використовують все: від шліфувальних машин до шліфувальних машин на повітряних компресорах. Стамески, шила, насоси, ножиці — практично будь-який сільськогосподарський інструмент можна привести в дію за допомогою повітряного компресора.

Очікується, що глобальний ринок турбокомпресорів зросте на 5,5% з 2018 по 2030 рік. Зростання ринку можна пояснити зростанням попиту на стиснене повітря в різних галузях, таких як промисловість, сільське господарство, транспорт тощо. Крім того, зростаючий попит на енергоефективне обладнання також сприяє зростанню ринку турбокомпресорів. Залежно від типу, очікується,

що осьові турбокомпресори будуть домінувати на світовому ринку турбокомпресорів протягом прогнозованого періоду. Це можна пояснити їх високою ефективністю та низьким рівнем шуму порівняно з відцентровими турбокомпресорами. Таким чином тема дипломної магістерської роботи «Удосконалення технології підвищення працездатності турбокомпресорів, задіяних на сільськогосподарських підприємствах» актуальна та своєчасна.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ

1.1. Загальні відомості про турбокомпресори

Турбокомпресор (ТК) — це пристрій, який використовує енергію газу під тиском для живлення турбіни, яка приводить в дію електричний генератор. Турбокомпресори використовуються там, де є потреба у великій кількості стисненого повітря.

Осьові турбокомпресори використовуються в газових турбінах для процесу наддуву. Вони встановлюються на вихлопній стороні газової турбіни і діють як осьовий компресор. Принцип роботи осьових турбокомпресорів заснований на обертальному русі з постійним об'ємним потоком, що забезпечує високий коефіцієнт тиску та низьку швидкість (польотний) цикл для ефективного виробництва електроенергії.

Відцентрові турбокомпресори використовуються в газових турбінах для підвищення тиску газів, що надходять у камеру згоряння. Лопаті турбіни перетворюють цей газ високого тиску в пару низького тиску, яка потім подається в парогенератор для виробництва електроенергії.

Вироблена потужність може варіюватися від 10 МВт до понад 300 МВт залежно від застосування та масштабу роботи.

Сегмент промислового застосування домінував на світовому ринку в 2023 році, на нього припадало понад 60,0% загального доходу. Очікується, що в цьому сегменті спостерігатиметься значне зростання через збільшення попиту на компресори в різних галузях промисловості, таких як нафтогаз, виробництво електроенергії та хімічна промисловість. Крім того, очікується, що зростаючий попит на високоефективні продукти з підвищеною енергоефективністю також стимулюватиме попит на продукцію протягом прогнозованого періоду.

Сегмент застосування в сільському господарстві займав значну частку в 2017 році і, за прогнозами, буде зростати на 20 % з 2018 по 2030 рік завдяки зростанню використання відцентрових турбокомпресорів на фермах по всій Європі.

Повітряний компресор - це електроінструмент, який створює та переміщує повітря під тиском. Повітря під тиском створює велику силу, яку можна використовувати для живлення різних видів інструментів.

Поршневі повітряні компресори працюють за допомогою поршня і циліндра. Коли машина ввімкнена, зміни тиску засмоктують повітря в резервуар. Коли поршні рухаються вниз, повітря, що потрапило в резервуар, знаходиться під великим тиском. Він випускається за допомогою напірного клапана в інший резервуар, де його випуск можна регулювати та контролювати через клапан. Клапан викидає повітря під тиском в інший інструмент або в простір, наприклад, у шину велосипеда, де він накачує шину та утримує форму шини, поки повітря не може вийти назад в атмосферу.

Повітря під тиском вимірюється в кубічних метрах, а швидкість потоку вимірюється в кубічних метрах за хвилину. Сам тиск вимірюється в одиницях, які називаються PSI або фунтами на квадратний дюйм. Типовий показник тиску повітряного компресора для домашнього або невеликого господарства становить 90 PSI. Для порівняння, пістолети-розпилювачі для фарбування використовують близько 40 PSI.

Типовий повітряний компресор працює від електричної енергії. Менші домашні повітряні компресори підходять для простих робіт, але компресори середньої та важкої потужності можуть знадобитися для великих ферм або будівельних проектів. Ці компресори змащуються маслом, завдяки чому вони працюють холодніше та тихіше, ніж без них.

Повітряні компресори мають датчик, який показує вам, коли компресор досягає бажаного PSI. Багато з них мають налаштування, які допомагають вам контролювати PSI, щоб ви могли набрати його на манометрі, увімкнути компресор і почекати, поки машина досягне бажаного тиску для роботи.

Менші повітряні компресори використовують електроенергію. Ці компресори підключаються до стандартної розетки за допомогою двоконтактної вилки.

До способів використання повітряного компресора на фермі слід віднести:

Накачування автомобільних шин

Більшість невеликих ферм володіють не лише автомобілями та вантажівками, а й невеликими транспортними засобами, такими як всюдиходи. Незважаючи на те, що шини для транспортних засобів підвищеної прохідності надзвичайно довговічні, але все одно потрібно буде накачати їх до відповідного PSI для безпеки. Маючи під рукою власний повітряний компресор, фермер зможе набагато легше та швидше підтримувати тиск у шинах (рис. 1.1). Він може підтримувати всі свої сільськогосподарські вантажівки та транспортні засоби в хорошому робочому стані, якщо шини накачані до правильного тиску.



Рисунок 1.1 – Накачування шин за допомогою компресора

Пневматичні пістолети для цвяхів

Фермери, як правило, «зроби сам». Багато будують власні господарські будівлі, курники, обкатки, механічні майстерні тощо. Пневматичні пістолети для цвяхів значно полегшують швидке будівництво конструкцій. Пневматичні пістолети для цвяхів покладаються на стиснене повітря, щоб вбивати цвяхи в матеріали з великою силою. Каркасні, фінішні та багато інших типів пневматичних пістолетів для цвяхів можна використовувати зі звичайним повітряним компресором для сільськогосподарських робіт (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Використання пневматичних пістолетів для сільськогосподарських робіт

Незалежно від того, чи будете ви нові двері для стійла, щоб замінити двері, які ваш кінь закинув, чи додаєте новий курник на ферму, пістолет для цвяхів, який запускається від вашого повітряного компресора, зробить це завдання швидким і простим. Більшість пневматичних пістолетів можна використовувати з меншими повітряними компресорами, але перевірте інструкцію до свого пістолета для цвяхів, щоб переконатися, що він сумісний із тиском повітря, доступним від вашого компресора.

Степлери пневматичні

Подібно до пневматичних пістолетів, пневматичні степлери, що працюють на повітряних компресорах, також полегшують виконання багатьох сільськогосподарських робіт. Якщо ви коли-небудь перетягували огорожу з дротяної сітки від одного стовпа до іншого, ви знаєте, що додавання міцних скоб для фіксації огорожі може бути втомливим для ваших рук і великою роботою.

Пневматичний степлер, що працює від повітряного компресора, може зробити завдання набагато менш виснажливим. Пневматичні степлери також можна використовувати для кріплення руберойду та черепиці до господарських будівель, сараїв і сараїв. Їх також можна використовувати для ремонту оббивки на сільськогосподарських транспортних засобах, таких як вантажівки, запустивши пневматичний степлер, прикріплений до повітряного компресора, щоб скріпити вініл на сидіннях.

Живопис

Фарбувальний пістолет, прикріплений до повітряного компресора, значно пришвидшує роботу. Пістолети-розпилювачі забезпечують рівномірний потік фарби, яка покриває деревину без крапель або бруду. Краплі фарби утворюють гладкий шар на більшості поверхонь.

Вони також можуть значно скоротити час, необхідний для фарбування середньої будівлі, що є ще одним плюсом для зайнятого фермера чи домовласника. Якщо вам коли-небудь доводилося фарбувати гектари стовпів і

огорож, ви знаєте, що фарбувальний пістолет дійсно може стати в нагоді для виконання роботи.

Прополка

Фермери справді інноваційна група. Один фермер, який вирощує абрикоси в Міннесоті, експериментував із використанням подрібнених абрикосових кісточок, насаджених під тиском повітря на бур'яни, щоб знищити їх. З подрібнених кісточок кісточкових фруктів, шкаралупи волоських горіхів або інших натуральних матеріалів виходить порошок, який при натисканні під високим тиском може знищити бур'яни з поля.

Інші піщані речовини, які перевіряються, включають кукурудзяний глютен, який є природним знищувачем бур'янів, який часто використовують на органічних фермах. Розпилюючи шрот під високим тиском, бур'яни знищуються, а ґрунт живиться. Дослідники, які винайшли це унікальне використання стисненого повітря на фермі, все ще працюють з різними культурами та матеріалами, щоб визначити, які найкраще підходять для прополки. Хоча ця техніка все ще знаходиться на стадії розробки, вона лише показує, що тиск повітря можна використовувати для багатьох речей, крім живлення інструментів на фермі.

Внесення добрив

Повітряні компресори, встановлені на тракторах та автомобілях, дозволяють застосовувати пестициди до своїх посівів (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Внесення пестицидів за допомогою компресорів

Повітряні компресори використовуються в різних сферах застосування на типовому сільськогосподарському підприємстві. Повітряне транспортне обладнання допомагає переміщувати зерно (рис. 1.4) чи інші матеріали. Багато фермерів прокачують стиснене повітря через стічні води, щоб допомогти розщепити відходи тваринництва.



Рисунок 1.4 – Обладнання з повітряним двигуном допомагає зберігати зерно

Використання саду

Фруктові сади покладаються на інтенсивне обприскування в певний час росту та розвитку фруктових дерев для боротьби з широким спектром хвороб і комах-шкідників. Повітряні компресори, що працюють з обприскувачами, є бумом для фруктової галузі. За допомогою повітряного компресора та професійного обприскувача ви зможете легше дістатися до верхівок дерев і обприскати свій фруктовий сад за частку часу, який займає ручний обприскувач.

Повітряні компресори, які використовуються у садівництві, часто встановлюються на кузовах пікапів або причепів, які тягне сільськогосподарська техніка. Оператор керує транспортним засобом, а інший, одягнений у захисне спорядження, стоїть на задній частині вантажівки та маніпулює розпилювальним шлангом, щоб дістатися до гілок дерев. Сільськогосподарське обприскування за

допомогою повітряних компресорів також можна використовувати для обприскування широкого спектру інсектицидів, фунгіцидів, добрив і просапних культур.

Основними перевагами ТК є:

- висока ефективність і надійність;
- відповідність оновленим екологічним вимогам;
- працездатність в будь-яких кліматичних районах з температурою навколишнього середовища від -55°C до $+45^{\circ}\text{C}$;
- повна заводська готовність агрегатів, що поставляються на компресорні станції;
- повна автоматизація агрегатів;
- висока польова ремонтпридатність вузлів і агрегатів;
- можливість оснащення рекуперацією тепла та іншими додатковими системами (опалення та вентиляції), що забезпечують обслуговування.

На рис. 1.5 показана турбокомпресорна станція.



Рисунок 1.5 – Турбокомпресорна станція

Уніфіковані базові корпуси компресорів забезпечують отримання заданих замовником параметрів шляхом встановлення змінних внутрішніх проточних частин з різною кількістю ступенів. Конструкції компресорів відповідають вимогам стандарту Американського інституту нафти (API 617).

У компресорах використовуються надійні підшипники ковзання (ПК) і підп'ятники з самоцентруючимися башмаками, уніфіковані за діаметром валу. Електромагнітні підшипники використовуються в компресорах без мастила.

Сальники торцеві для компресора бувають щілинні і масляні, а також двох модифікацій:

- зі стандартними плаваючими кільцями, призначеними для роботи при тиску до 8 МПа;
- із зовнішніми плаваючими кільцями, забезпеченими додатковими башмаками підшипників ковзання, призначеними для використання при більш високих значеннях тиску.

Система автоматичного керування (САУ) турбокомпресорної установки реалізована на базі мікропроцесорної техніки нового покоління з кольоровими моніторами. САУ дозволяє виконувати наступні керуючі дії:

- автоматичний запуск і відключення турбокомпресорного агрегату;
- дистанційне керування приводами;
- контроль, вимірювання, реєстрація та сигналізація параметрів процесу стиснення газу;
- аварійний захист упаковки, включаючи запис інформації, що викликає аварійне відключення;
- протипомпажний контроль;
- сигналізація тривоги при недопустимих відхиленнях від заданих параметрів процесу;
- автоматичні сигнали про стан пакетних механізмів;

- автоматичний запуск і зупинка пакетних резервних блоків;
- контроль систем захисту упаковки в робочих і неробочих умовах;
- схеми керування виконавчими механізмами;
- зв'язок з центральними системами управління компресорної станції;
- Діагностичний контроль працездатності систем агрегату.

Безмасляний Vs. Компресори, що змащуються маслом

Існує думка, що виробники сільськогосподарської продукції повинні відповідати стандартам харчової промисловості, оскільки їхня продукція зрештою потрапляє в їжу, тому потрібно використовувати безмасляні компресори.

Але відомо, що традиційні масляні компресори також добре працюють у сільському господарстві за умови належної фільтрації та використання харчових мастильних матеріалів.

Плюси і мінуси безмасляних повітряних компресорів

Звичайно, безмасляні повітряні компресори мають деякі переваги. Окрім зменшення ризику забруднюючих речовин у повітрі, відсутність масла значно полегшує планове обслуговування.

Безмасляні компресори зазвичай потребують відновлення через п'ять-шість років, що є серйозною витратою, а також проблемою простою. Тож, хоча ви заощаджуєте гроші на регулярній заміні масла, ви повернете всі ці гроші шляхом відновлення кожні п'ять років. Крім того, безмасляні компресори мають термін служби приблизно 50 000 годин, у порівнянні з принаймні 150 000 для компресора з масляним змащенням.

І той факт, що повітряний компресор є безмасляним, не обов'язково означає, що він випускає безмасляне повітря. Масло може потрапити в кінцевий продукт багатьма способами, особливо якщо повітря, яке отримує ваш компресор, містить масло. Це може статися, якщо ваш компресор знаходиться в машинному

відділенні з іншим обладнанням для видобутку нафти або забирає повітря з дизельного двигуна на будівельному майданчику чи головній магістралі.

Фермер повинен принаймні двічі на рік перевіряти якість повітря, щоб переконатися, що масло не потрапляє у стиснене повітря.

Крім того, якщо вносяться будь-які зміни у систему, навіть додаючи труби, змінюючи фільтр або навіть виконуючи планове технічне обслуговування, слід провести ще один тест, щоб переконатися, що обладнання відповідає стандартам. І важливо задокументувати ці вимірювання.

Моніторинг

Нові розробки в мережах і комунікаціях зробили можливим дистанційний моніторинг системи повітряного компресора. На найпростішому рівні ви можете отримувати базові сповіщення про те, що ваш пристрій має бути ремонтним. Або що є велика проблема. І ви можете встановити параметри в будь-якому діапазоні, який ви виберете.

Мета полягає не в тому, щоб дистанційно вносити зміни в керування, а в тому, щоб забезпечити 24x7x365 видимість вашої повітряної компресорної системи, моніторинг усіх ключових параметрів, щоб забезпечити майже «безперервний аудит» продуктивності та стану системи. Це дає можливість не тільки вирішувати проблеми, але й передбачати їх і вживати заходів для виправлення, перш ніж вони вимкнуть повітряний компресор.

В кінцевому результаті нижчі експлуатаційні витрати, менше простоїв і більший спокій. Рішення, готове до майбутнього, яке також дає змогу виконувати пошук несправностей, профілактичне технічне обслуговування та покращення продуктивності.

1.2. Переваги і недоліки ремонту ТК

Турбокомпресори є важливою складовою сучасних дизельних двигунів. Вони працюють шляхом стиснення повітря, що надходить, що дозволяє двигуну спалювати більше палива та виробляти більше енергії. Однак іноді ТК можуть виходити з ладу, що може призвести до втрати потужності та збільшення витрати палива. Коли це трапляється, є два основних варіанти: полагодити ТК або повністю його замінити. Нижче розглядаються переваги та недоліки обох варіантів, а також різні частини та функції турбокомпресора.

Ремонт ТК може бути економічно ефективним рішенням, якщо пошкодження мінімальні. Наприклад, якщо з турбокомпресора є невеликий витік масла або пошкоджене ущільнення, ці проблеми часто можна усунути без заміни всього агрегату. Це може заощадити гроші порівняно з вартістю покупки нового турбокомпресора.

Однак ремонт ТК також має деякі недоліки. По-перше, якщо пошкодження є значним, ремонт ТК може бути неможливим або рентабельним. У цьому випадку можна витратити більше грошей на повторний ремонт, ніж на новий ТК. По-друге, навіть якщо ТК можна виправити, він може працювати не так добре, як новий агрегат. Відремонтований ТК може мати коротший термін служби або знижену продуктивність, що може вплинути на потужність двигуна та паливну ефективність.

Заміна ТК має кілька переваг. Новий ТК, імовірно, працюватиме краще, ніж відремонтований, забезпечуючи двигуну підвищену потужність і кращу паливну ефективність. Нові ТК також постачаються з гарантією, що означає, що ви матимете додатковий захист від будь-яких дефектів або проблем.

Однак заміна турбокомпресора також має деякі недоліки. По-перше, нові турбокомпресори дорожчі за ремонт. Залежно від марки та моделі вашого автомобіля, вартість нового ТК може коливатися від кількох сотень до кількох тисяч доларів. По-друге, заміна ТК може зайняти багато часу та праці. Заміна ТК може зайняти кілька годин або навіть днів, залежно від складності двигуна та доступності ТК.

Частини та функції турбокомпресора

ТК складається з кількох різних частин, кожна з яких відіграє вирішальну роль у його загальній функції. Ці частини включають:

1. **Корпус компресора** – у цій частині розміщено колесо компресора, яке стискає вхідне повітря перед тим, як воно потрапить у двигун.
2. **Колесо компресора** . Колесо компресора — це обертовий диск, який стискає повітря під час обертання.
3. **Корпус турбіни** - Корпус турбіни містить колесо турбіни, яке з'єднане з колесом компресора валом.
4. **Турбінне колесо** - турбінне колесо приводиться в рух вихлопними газами, які обертають його та компресорне колесо.
5. **Вал і підшипники** - Вал з'єднує колеса компресора і турбіни, а підшипники підтримують вал і дозволяють йому вільно обертатися.
6. **Wastegate** - Wastegate контролює кількість вихлопних газів, які проходять через турбіну, що регулює швидкість турбіни та компресора.

Проблеми, спричинені несправністю ТК

Коли ТК виходить з ладу, це може спричинити різноманітні проблеми для двигуна. Найбільш очевидним симптомом є втрата потужності, оскільки двигун не зможе створити стільки крутного моменту без додаткового наддуву від ТК. Це також може призвести до зниження паливної ефективності, оскільки двигуну потрібно буде працювати більше, щоб виробляти ту саму потужність.

Ще одна поширена проблема, пов'язана з несправністю тТК, – збільшення викидів вихлопних газів. Коли ТК не працює належним чином, незгоріле паливо та інші забруднюючі речовини можуть потрапляти у вихлопну систему, що може призвести до збільшення викидів і потенційних штрафів.

1.3. Ремонт деталей типу вал

Знос і пошкодження валу

Вали є важливим компонентом обертового обладнання. Вони використовуються для передачі енергії від однієї частини до іншої або від машини, яка виробляє енергію, до машини, яка поглинає енергію. Вали зазвичай працюють у зануреному або напівзануреному стані та піддаються пошкодженню корозією або хімічним впливом. Більш характерним зносом валів можуть бути зношування або пошкодження через вібрацію, тертя та абразивні середовища. Крім того, занадто великі шпонкові канавки, важливий компонент, який з'єднує обертове обладнання з валом, можуть спричинити несправність валу. Зношені та пошкоджені вали можуть призвести до зупинки всієї машини. Тому зношені вали можуть перешкоджати або призупинити виробництво та призвести до втрати прибутку.

Нижче розглядається приклад ремонту валу за допомогою полімерних матеріалів [1].

Традиційні методи ремонту валу

Зношені та пошкоджені вали зазвичай ремонтують за допомогою гарячого процесу (зварювання/механічна обробка або розпилення гарячого металу/механічна обробка). Якщо не контролювати їх ретельно, ці звичайні методи спричинять залишкове пошкодження валу. Вони також вимагають розбирання машини. Є проблеми, пов'язані зі зварюванням і термічним напиленням. Зварювання може створити теплові напруги, які призведуть до руйнування та деформації металу, знижуючи його несучу здатність. Напилення металу можна використовувати лише для усунення невеликих пошкоджень.

Основним недоліком методів, пов'язаних з зварюванням, наплавленням та напилюванням є те, що вони екологічно небезпечні як для оточуючого середовища так і для людей.

Цих проблем і обмежень можна уникнути, використовуючи комбінацію полімерної технології та перевірених методів нанесення Belzona (рис. 1.7).

На рис. 1.5 показаний знос посадкової підшипникової шийки валу.



Рисунок 1.6 - Зношена посадкова зона підшипника валу

Проблем і обмежень звичайних методів, таких як ремонт металеві розпилювальної шахти, можна уникнути, використовуючи комбінацію полімерів і перевірених методів нанесення Belzona. Полімери серії Belzona 1000 пропонують ремонтні рішення холодного нанесення, які часто можна виконувати на місці. Таким чином, час простою та витрати на виробництво, які можуть бути понесені, зводяться до мінімуму.



Рисунок 1.7 - Ремонт валу розчином Belzona

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.

Для ремонту валу використали: **Belzona 1111 (Super Metal)**, готову форму («хомут») з нержавіючої сталі (рис. 1.8), Belzona 9111 (очищувач/знежирювач), Belzona 9411 (відділювач), а також кілька інструментів із майстерні (рис. 1.9).

Спочатку очистили зону ремонту, нанесли антиадгезив на внутрішню поверхню форми та область навколо зони ремонту. Далі Belzona 1111 ретельно перемішували і наносили на внутрішню поверхню форми і ремонтну зону валу, утворюючи пік до центру. Потім перший був затиснутий навколо валу та закріплений на місці за допомогою кріплень. Виділений продукт обережно видаляють. Після затвердіння форму видаляли, а ділянку ремонту зачищали наждачною шкуркою, щоб усунути гострі краї.

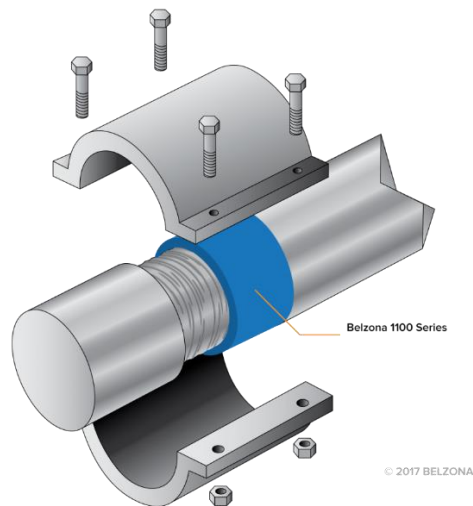


Рисунок 1.8 - Ремонт зношеного валу за допомогою форсунки та Belzona 1111

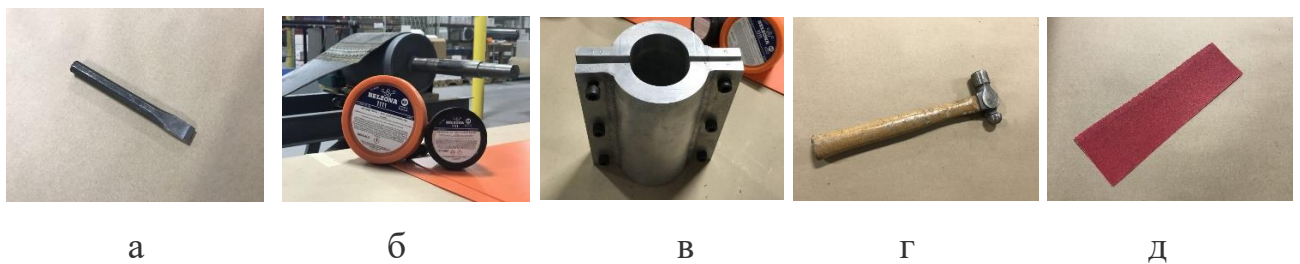


Рисунок 1.8 - Матеріали та інструменти, необхідні для ремонту зношеного валу:
зубило (а), з belzona 1111(б), «хомут» (в), молоток (г), наждачна шкурка
(д)

Послідовність ремонту зношеного валу за допомогою belzona 1111:

1. Очищення зношеного валу

Ретельно очистіть місце, щоб видалити весь жир, бруд та інші поверхневі забруднення.



2. Підрізати стрижень

1 шліфувальна машина з відповідним диском для підточення валу на 1,5 мм по всьому колу.



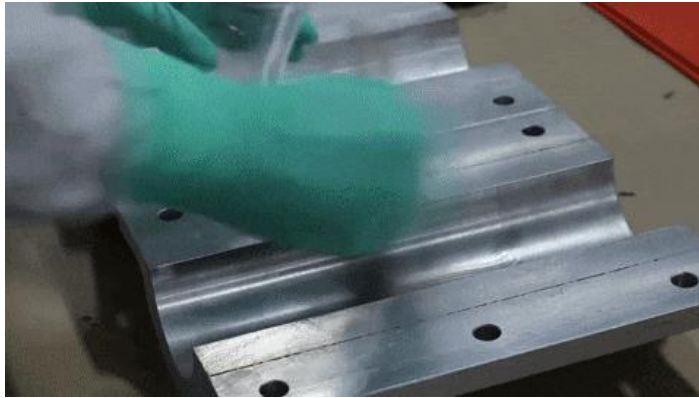
3. Знежирить зношену поверхню валу

Очистіть підготовлену ділянку Belzona 9111 (очищувач/знежирювач), щоб видалити всі поверхневі забруднення.



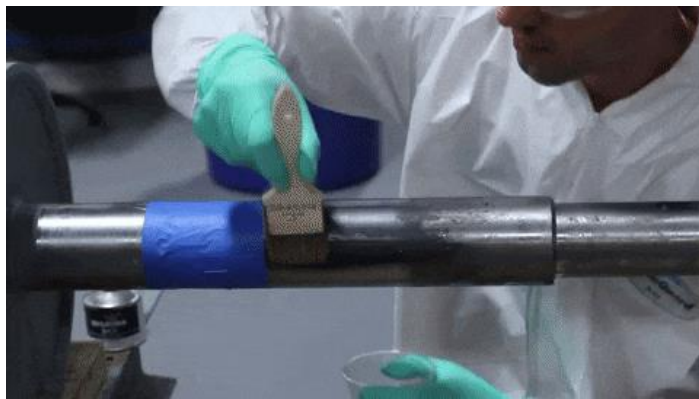
4. Застосувати Release Agent

Нанесіть Belzona 9411 (Release Agent) на внутрішню поверхню форми.



5. Нанести антиадгезив на пошкоджений вал

Нанесіть Belzona 9411 (Release Agent) на область навколо зони ремонту



6. Суміш Belzona 1111

Ретельно перемішайте 2-компонентну епоксидну пасту Belzona 1111 для ремонту металу до досягнення однорідного кольору без будь-яких смуг.



7. Wet Out Former

На внутрішню поверхню форми тонким шаром нанесіть суміш Belzona



8. Міцно застосувати

Нанесіть тонкий шар змішаного матеріалу на стрижень, щільно втиснувши його в шорсткий профіль.



9. Сформуйте пік

Сформуйте пік до центру області нанесення.



10. Позиційний формувач валу

Розташуйте форму навколо валу.



11. Формувач хомута

Закріпіть форму в потрібному положенні за допомогою кріпильних елементів, переконавшись, що надлишок матеріалу видавлюється з кінців форми



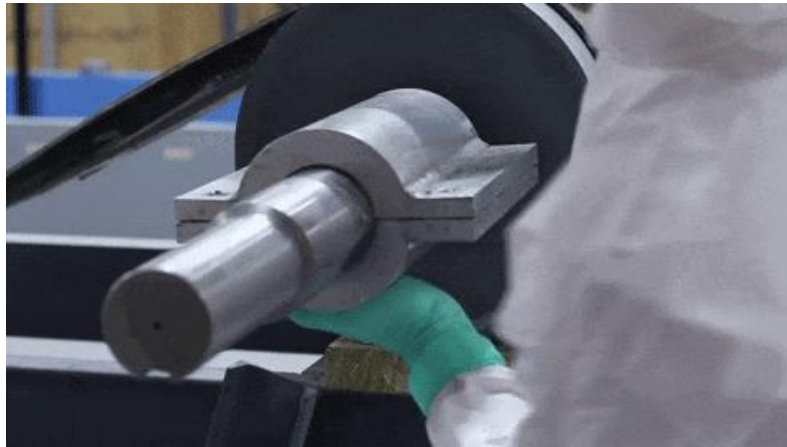
12. Видаліть зайве

Видаліть надлишки матеріалу та дайте нанесеному матеріалу затвердіти.



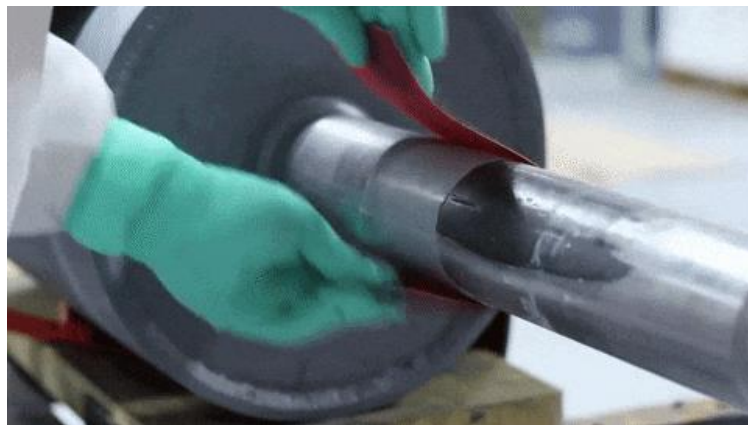
13.Видалити попереднього

Після затвердіння обережно видалить болти та форму.



14.Smooth Down

Зачистить поверхню нанесеної наждачним шкуркою.



Епоксидні розчини Belzona можна використовувати для ремонту зношених валів. Belzona також пропонує рішення широкого спектру інженерних проблем і ремонтних ситуацій.

Незважаючи на низку позитивних рішень при використанні технології ремонту валів за допомогою полімерних матеріалів Belzona існують обмеження для її використання. Так спеціальне «загрублення» поверхневого шару призведе до появи концентраторів напружень і зниження втомленої міцності, що край небажано для валів, що працюють при знакозмінних навантаженнях (згин з

крученням). Крім цього твердість таких покриттів дуже низька і вони гарно працюють на здавлювання, але погано на зріз.

1.4. Висновки:

1. Аналіз роботи турбокомпресорів показав, що вони знайшли широке застосування в фермських і сільськогосподарських господарствах.

2. Проведений аналіз умов праці ТК, основних причин виходу з ладу їх відповідальних деталей та вузлів.

3. Розглянутий метод ремонту деталей типу валів за рахунок використання полімерних матеріалів Belzona. Визначені його переваги та недоліки.

1.5. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення експлуатаційних властивостей турбокомпресорів за рахунок удосконалення технології реновації їх валів, шляхом використання комбінованих екологічно безпечних технологій.

Для досягнення мети роботи потрібно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати умови роботи ТК;
- проаналізувати методи покращення якості поверхневих шарів валів при їх виготовленні та ремонті і вибрати найкращі;
- розробити методику досліджень;
 - провести аналіз напруженого стану поверхневих шарів після нанесення електроіскрових покриттів і поверхневого пластичного деформування.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КОМБІНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛІВ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИМИ МЕТОДАМИ

2.1. Аналіз існуючих технологій відновлення деталей машин

В результаті проведеного літературного і патентного пошуку встановлено, що в ремонтній технології існує дуже багато методів: гальваніка, різного роду напилення, наварювання, наплавлення, лазерне наплавлення, електроіскрове легування (ЕІЛ), поверхнева пластична обробка (ППД), відновлення пластичними і металопластичними матеріалами, відповідно (ПМ) і (МПМ) тощо.

Аналіз методів відновлення валів показав, що серед розглянутих екологічно безпечними є: ЕІЛ, нанесення ПМ і МПМ і обробка ППД. Розглянемо більш детально ці методи.

Електроіскрове легування.

ЕІЛ полягає в перенесенні матеріалу аноду (легуючому електроду) на катод (деталь) під дією іскрового розряду в газовому середовищі (рис. 2.1).

До основних особливостей ЕІЛ відносяться: локальна обробка поверхневого шару виробу, відсутня потреба в захисту іншої поверхні; міцне зчеплення нанесеного матеріалу і основи; незначний нагрів деталей під час обробки; можливість використання любых струмопровідних матеріалів; дифузійне впровадження в поверхню катода складових елементів анода без зміни розміру деталі. Технологія ЕІЛ не складна, а обладнання негабаритне і легко транспортабельне і має мале енергоспоживання в порівнянні з іншими методами тощо [2-5].

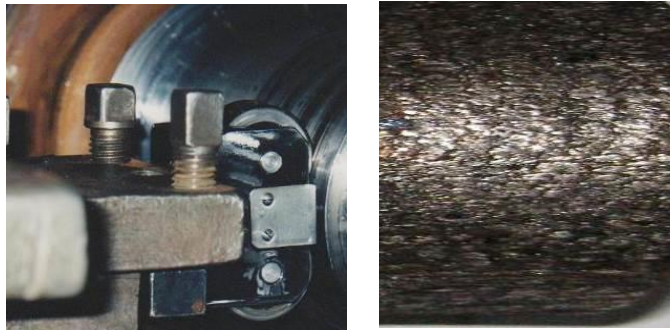
До недоліків ЕІЛ відносять збільшення шорсткості поверхні, виникнення розтягуючих залишкових напружень, зниження втомленої міцності, наявність пор у сформованих покриттях.



Рисунок 2.1 - Процес відновлення поверхні валу в автоматизованому режимі

Обробка поверхневим пластичним деформуванням.

До обробки ППД відносять обкатку поверхневого шару виробу кулькою (ОК), роликом (ОР), алмазне вигладжування (АВ), обробка дробом, безабразивну ультразвукову обробку (БУФО). Як правило для більш м'яких і більш шорстких поверхонь використовують ОК і ОР, більш твердих і менш шорстких - АВ. Обробка БУФО для усіх поверхонь. Перевагами ППД є: відновлення посадкових розмірів, підвищення твердості, зносостійкості, втомлювальної міцності, зниження шорсткості поверхні [6-9].



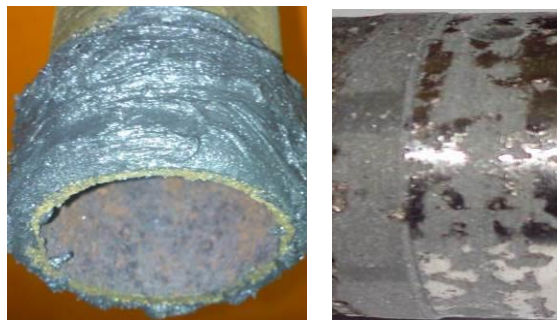
а

б

Рисунок 2.2 - ОК шийки валу (а) і поверхня валу після обкатки (б)

Технологія нанесення ПМ і МПМ достатньо описана в першому розділі.

Слід відмітити, що технології ЕІЛ, ППД і ПМ взаємно доповнюють одна іншу. Якщо на зношену поверхню методом ЕІЛ ми нанесем шар електродом інструментом з твердого зносостійкого металу (вольфрам, хром, молібден тощо) то отримаєм на поверхні деталі покриття з твердого зносостійкого металу, міцно зчепленого з основою, але збільшеною шорсткістю поверхні, розтягуючими залишковими напруженнями і зниженою втомленою міцністю. Якщо після ЕІЛ провести обробку ППД, наприклад ОК, то це призведе до зниження шорсткості поверхневого шару, заміни знаку залишкових напружень на стискаючі і збільшення втомленої міцності, тобто усунення практично усіх недоліків, отриманих в результаті ЕІЛ. Остаточо зменшити шорсткість поверхні можливо за рахунок подальшої обробки нанесенням ПМ (рис. 2.3).



а

б

Рисунок 2.3 – Шийка валу з нанесеним ПМ (а) і поверхня валу після проточки (б)

Перевагами комбінованої технології ЕІЛ + ПМ є: суцільність поверхні 100%; зниження шорсткості поверхні нижче, ніж при ЕІЛ; збільшенні твердості значно вище, ніж у ПМ.

На рис. 2.4 показана схема нанесеного шару ПМ на поверхню деталі, оброблену методом ЕІЛ. Після нанесення ПМ поверхневий шар потрібно проточити в розмір. При цьому змінюючи параметри ЕІЛ можна отримати поверхневі шари, які мають різну структури. Чим на більшу глибину ми зменшим поверхневий шар, то тим більше він буде складатись з матеріалу нанесеного методом ЕІЛ і навпаки.

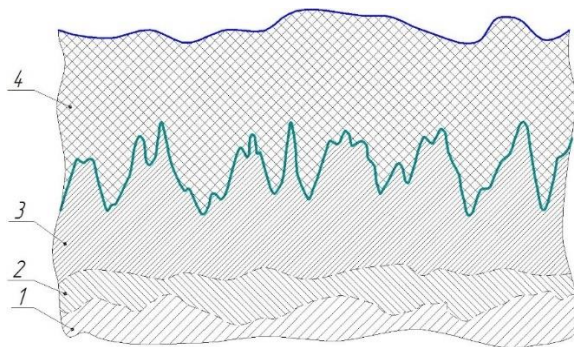


Рисунок 2.4 – Схема структури відновленого поверхневого шару деталі:
1 – матеріал деталі; 2 – перехідний шар; 3 – шар покриття нанесеного ЕІЛ;
4 – шар із ПМ

Таким чином, варіюючи параметрами електроіскрового легування можна керувати співвідношенням площ поверхні з ПМ і сформованих методом ЕІЛ.

2.2. Методика проведення досліджень

Для проведення робіт по відновленню посадкових та підшипникових шийок валів компресорів була задіяна механізована установка «ЕІЛ-9» (рис. 2.5), яка містить генератор і електропривод з електродною голівкою, яка розташована на токарному верстаті. Максимальна товщина нанесено шару покриття за один прохід може бути до 0,60 мм.

При ЕІЛ не виникає деформування і зміни геометричних параметрів валу, що обробляється, тобто відсутні жолоблення і повідці. Це відбувається тому, що температура поверхневого шару валу не перевершує 100 °С. Режим обробки валу вибирався згідно рекомендацій табл. 2.1.

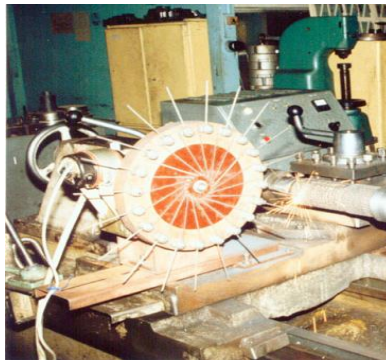


Рисунок 2.5 - Фото процесу відновлення валу методом ЕІЛ на установці моделі «ЕІЛ-9»

Таблиця 2.1 - Параметри ЕІЛ при роботі на установці моделі «ЕІЛ-9»

Параметри	Режим		
	1	2	3
Товщина нанесеного шару покриття за 1 прохід, мм	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40
Величина струму, А	0-10,0	10,0-20,0	20,0-30,0
Переріз електродів, мм ²	3,0-5,0	5,0-7,0	7,0-10,0

Слід пам'ятати, що якість нанесеного поверхневого шару покриття залежить від навиків оператора і щоб їх звести до мінімуму, потрібно користуватись показанням амперметра і витримувати потрібну величину електричного струму.

При відновленні поверхонь валів використовують тверді зносостійкі метали: хром, молібден, нікель тощо та сплави, наприклад нержавіюча корозійностійка сталь 12Х18Н10Т.

При використанні наступного ППД товщина нанесеного шару зменшується приблизно на 30-40%. При цьому одночасно протікає два процеси: руйнування виступів шорсткості поверхні і її деформування.

Для кращого вибору найбільш раціонального режиму деформації при ППД в [10] було запропоновано всі електроіскрові покриття, в залежності від мікротвердості поверхневого шару після ЕІЛ, поділити на три групи: м'які (до 2000 МПа), середні (від 2000 до 3000 МПа) і тверді (від 3000 МПа). Для першої групи покриттів запропоновані питомі зусилля деформації $P_{\text{ср}} =$ від 750 до 1250 МПа, другої – від 1300 до 1500 МПа і третьої від 2500 до 3000 МПа.

2.3. Удосконалення технології відновлення шийок валів ТК

Для ППД зовнішніх циліндричних поверхонь, з метою підвищення параметрів їх поверхонь в ремонтних технологіях машинобудування використовуються різні конструкції пристроїв, один з яких показаний на рис. 2.6.

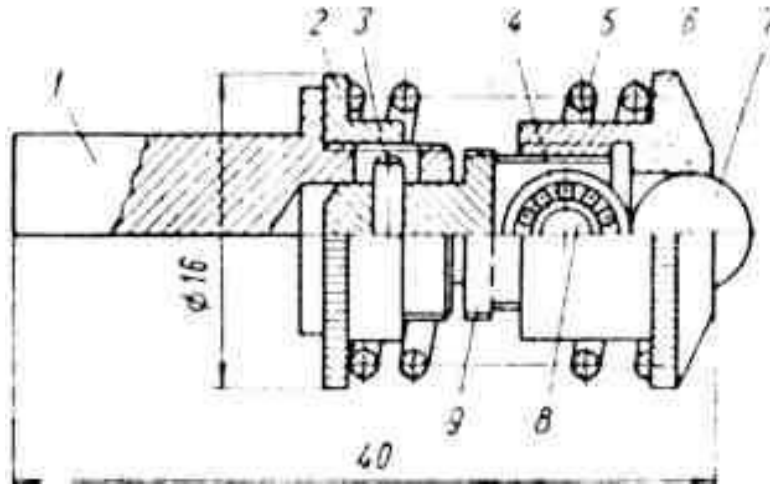


Рисунок 2.6 - Кульковий обкатник

Пристрій може обробляти як зовнішні так і внутрішні циліндричні поверхні. Він працює таким чином. Кулька (7), яка розташована в втулці-сепараторі (6) обкатується по поверхні кулькопідшипника (4), який закріплений на вісі (8). Вилка (9) входить хвостовиком в отвір корпусу (1) і переміщується в межах руху штифта (3) розташованого на пазу корпусу. Необхідне питомі зусилля деформації P_{cp} притиску кульки (7) до оброблюваної поверхні забезпечується тарованою пружиною 5.

Для визначення параметрів ОК (\emptyset кульки, глибини наклепу та зусилля P_{cp} притиску кульки) необхідно провести аналіз напружено-деформованого шару, який виник після ЕІЛ+ППД.

Методика визначення параметрів вогнища деформації для поверхонь, які мають складну структуру представлена нижче. За її допомогою визначаються головні геометричні параметри вогнища деформації для однорідних тіл і тримається на понятті пластичної твердості (НД), яку можна отримати шляхом перерахування твердості по Віккерсу і Роквеллу. Так, при $HV < 4000$ МПа існують залежності:

$$HV = 1,53 \text{ НД}^{0,89}, \text{ кгс/мм}^2 = 1,96 \text{ НД}^{0,89}, \text{ МПа.}$$

При ЕІЛ сталених деталей на їх поверхнях з'являється «білий», твердість якого значно вище її основному матеріалу. Нижче розташована перехідна зона з меншою твердістю в порівнянні з твердістю «білого» шару.

Підвищення якості ЕЕЛ шарів ППД (зниження шорсткості, підвищення мікротвердості і т.д.) багато в чому залежить від структури легованого шару і від обраних режимів силового впливу на них.

Загальна товщина виробу збільшується на товщину нанесеного при ЕІЛ шару, Δh_c .

При ЕІЛ валу його \varnothing (D_b) буде підвищений на $2\Delta h_c$ і його можна визначити мікрометром.

Кулька (рис. 2.7) під навантаженням P втискає твердий «білий» шар у м'якший перехідний шар і зміцнює його. При цьому «білий» шар є проміжною ланкою, і радіус індентора стає більшим на $\Delta h_{б.с.}$, а \varnothing валу на $2 \cdot \Delta h_{б.с.}$.

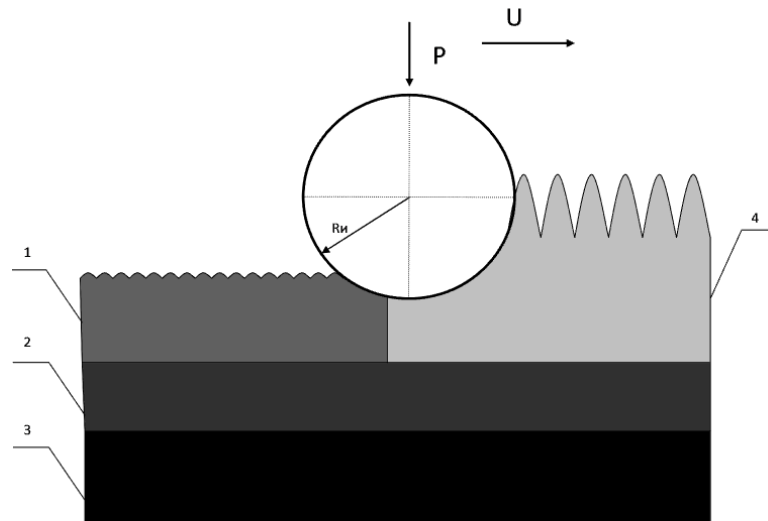


Рисунок 2.7 - Схема ППД електроерозійних покриттів із твердих зносостійких матеріалів: 1 - недеформований «білий» шар, 2 - зміцнений перехідний шар, 3 - основний метал, 4 - не зміцнений перехідний шар

Відомо, що товщина «білого» шару $\epsilon \cong 2/3$ від товщини нанесеного покриття, тобто $\Delta h_{б.с.} \cong \frac{2}{3} \Delta h_c$.

Приймаєм для подальших розрахунків матеріал валу і легуючих електродів сталь 45.

Відомо, що величина межа міцності, $\Delta\sigma_{-1}$, обґрунтована при ОШ, залежить від вирішальних чинників: глибини наклепу (h_s) і розміру і розподілу залишкових стискуючих напружень, ($\sigma_{ост}$).

На сьогодні існують такі положення [11-13]:

- найбільша кількість зміцнення деталі закінчується на етапі рівномірної деформації, коли $\epsilon_{i0} < \epsilon_p$;
- найбільша кількість і величини мікро дефектів в поверхні деталі виникає за межами рівномірної деформації, коли $\epsilon_{i0} > \epsilon_p$.

Таким чином, можна зробити висновок, що оптимальною інтенсивністю деформації зобов'язана бути $\epsilon_{i0} = \epsilon_{i,опт} = \epsilon_p$.

ϵ_p можна знайти з залежності:

$$\epsilon_p = \frac{245}{НД},$$

де НД – пластична твердість матеріалу деталі (МПа), яку можна знайти згідно ГОСТу 18835 – 73.

Якщо матеріал валу сталь 45, то НД = 2250МПа, а

$$\epsilon_p = \frac{245}{2250} = 0,11.$$

Ефективність зміцнення валу при ОК, залежить від: навантаження на кульку Р; Ø кульки D, подачі s, кількості проходів n, та швидкості обкатки v.

Згідно останніх 3-ох чинників вивчено достатньо добре: обкатку повинно втілювати за 1 прохід при $v \leq 100$ м/хв. і $s \leq (0,2 - 0,24)b$, де b – 1/2 ширини залишку сліду кульки шарика на поверхні деталі.

Глибину зміцненого шару h_s при $D_B \leq 600$ мм знаходять з залежність:

$$\frac{h_s}{D_B} = 0,01 \left(\frac{10}{\lg D_B} - \lg \frac{D_B}{2} \right),$$

де D_B – \emptyset валу. Ми для розрахунків приймаємо \emptyset валу як в компресорі, тобто $D_B = 92$ мм.

Звідси:

$$\frac{h_s}{92} = 0,01 \left(\frac{10}{\lg 92} - \lg \frac{92}{2} \right);$$

$$h_s = 3,1550 \text{ мм.}$$

Навантаження P знаходимо по формулі:

$$P = \frac{2h_s^2}{k^2 \left(\frac{1}{\sigma_r} - \frac{1}{HД} \right)}.$$

При обкатці кулькою можна приймати $k = 1$.

Тоді:

$$P = \frac{19,916}{0,02228} = 893,89 \text{ Н} \approx 0,9 \text{ кН}.$$

Діаметр кульки D можна знаходять по формулі:

$$D = \frac{9,7 h_s^2}{D_e \sqrt{\varepsilon_p^3} \left(\frac{\sigma_m}{HД - \sigma_m} \right)^2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon_p^{0,75} D_e HД - \sigma_m}{2,2 h_s \sigma_m} \right)^2} \right).$$

$$D = \frac{9,7 \cdot 3,16^2}{92 \cdot \sqrt{0,11^3}} \cdot 0,59 \cdot (1 + \sqrt{108,92}) = 19,45 \approx \emptyset 19 \text{ мм.}$$

Проведеними дослідженнями встановлено, що щоб отримати глибину наклепаного шару $h_s = 3,15$ мм потрібно провести ОК $\emptyset 19$ мм при навантаженні $P = 0,9$ кН.

Таким чином, при відновленні зношених поверхонь валу потрібно використовувати комбіновану технологію, яка складається з екологічно безпечних технологій задіяних в послідовності ЕІЛ→ОК→ПМ.

2.4. Висновки по розділу 2:

1. В результаті проведеного літературного і патентного пошуку встановлено, що серед багатьох ремонтних технологій деталей машин екологічно

безпечними є: електроіскрове легування (ЕІЛ), поверхнева пластична обробка (ППД), відновлення пластичними матеріалами ПМ).

2. Розроблена методика проведення робіт згідно ЕІЛ поверхні валу зі сталі 45 і вибору найбільш раціонального режиму деформації при ППД в залежності від мікротвердості поверхневого шару.

3. В результаті аналізу напружено деформованого стану визначені основні параметри вогнища деформації: глибина наклепаного шару $h_s = 3,15$ мм; діаметр кульки = 19 мм при навантаженні $P = 0,9$ кН і інтенсивність деформації $\varepsilon_i = 0,11$.

4. При відновленні зношених поверхонь валу потрібно використовувати комбіновану технологію, яка складається з екологічно безпечних технологій задіяних в послідовності ЕІЛ→ОК→ПМ.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПОВІТРЯНОГО КОМПРЕСОРА

3.1. Загальні положення

Інструкцію по безпечному обслуговуванню повітряного компресора повинні переглянути всі, хто тільки починає користуватися повітряним компресором. Звісно, повітря не звучить страшно, але повітря, яке проходить під високим тиском через повітряний компресор, може забити цвяхи в листову плиту. До всього такого сильного слід сприймати серйозно.

Коли фермер розглядає, як використовувати повітряний компресор на фермі, потрібно взяти до уваги наступні поради з безпеки:

- Ознайомтеся з обладнанням, перш ніж використовувати його в полі або на фермі. Прочитайте інструкцію з експлуатації. Вивчіть частини машини. Зверніть увагу на будь-які засоби безпеки, такі як запірні клапани або вимикачі, щоб швидко вимкнути обладнання в разі надзвичайної ситуації.
- Не дозволяйте дітям користуватися повітряним компресором або торкатися шлангів. Слідкуйте за дітьми та дрібними тваринами біля повітряних компресорів або, ще краще, використовуйте їх у закритому для них місці.
- Ніколи не використовуйте повітряний компресор для очищення одягу, шкіри або тварин. Стиснене повітря може забивати сміття та частинки повітря в шкіру або слизові оболонки, спричиняючи травми або смерть.
- Використовуйте повітряний компресор на вулиці або в добре провітрюваному приміщенні. Вхідне повітря може містити чадний газ та інші токсичні випари. Не вдихайте випари від компресора.

3.2. Правила безпеки при обслуговуванні компресора

- Не використовуйте повітряні компресори, призначені для внутрішнього використання лише на вулиці. Як і всі інші електроприлади, повітряні компресори призначені для використання в приміщенні або на вулиці. Використання обладнання поза приміщенням може призвести до ураження електричним струмом, ураження електричним струмом або передчасного виходу обладнання з ладу.
- Слідкуйте за іржею. Більша ймовірність вибуху іржавих танків. Отримайте новий повітряний компресор, якщо бачите сліди іржі на баку! Щодня зливайте резервуари або використовуйте більш тонкий дренаж, щоб забезпечити безпечну роботу.
- Ніколи не обходьте запобіжні клапани та не намагайтеся змінити їх будь-яким способом. Вони є на вашому обладнанні неспроста, і вони захищають вас від підвищення тиску.

- Замініть масло або додайте більше палива в компресор, якщо він був вимкнений протягом певного часу. Ніколи не додавайте паливо або масло під час роботи.
- Вимкніть усі інструменти, підключені до повітряного компресора, перш ніж увімкнути сам компресор.
- Підключайте повітряний компресор лише до розеток із правильною напругою для машини. Запуск компресора в неправильному контурі може привести до вибуху контуру, компресора або обох.
- Закріпіть великі повітряні компресори на підлозі машини чи майстерні. Це утримує їх від руху під час використання. Вібрація може «прогуляти» машини по деяких поверхах, що призведе до нещасних випадків.
- Одягайте захисні окуляри та інше захисне обладнання під час використання повітряного компресора, щоб захистити очі.
- Не використовуйте повітряний компресор, коли ви втомлені або розсіяні. Електроінструменти можуть бути небезпечними, якщо ви не уважні. Фермери часто працюють у небезпечних ситуаціях або з великими потужними інструментами. Відволікання може призвести до травми.

3.3. Висновки

Повітряні компресори — чудовий інструмент для роботи на фермі. Вони забезпечують багато корисних інструментів, що економлять час. Дотримуючись кількох простих заходів безпеки, ви можете запобігти нещасним випадкам із повітряним компресором, які можуть завдати шкоди вам, вашій родині чи вашій худобі.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ

4.1. Нормування робіт по відновленню валів ТК методом ЕІЛ

Матеріали та обладнання для ЕІЛ сталевих поверхонь валів ТК зведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка потрібних матеріалів та обладнання

Обладнання та матеріали	Ціна, тис. грн
Пристрій «Елітрон – 22А»	50.000

Сталь 45, 1кг	0,300
---------------	-------

4.2. Розрахунок собівартості ЕІЛ

Собівартість відновлення 1 валу ТК без покриття

$$C_{\text{баз}} = 160 \text{ грн.}$$

Термін роботи 1 валу ТК без покриття складає

$$T_{\text{баз}} = 2,0 \text{ р.}$$

Собівартість затрат для відновлення 1 валу ТК складає:

$$C_{\text{мат}} = 15,0 \text{ грн.}$$

Таким чином повна собівартість буде:

$$C_{\text{нов}} = C_{\text{баз}} + C_{\text{мат}} = 160 + 15 = 175 \text{ грн} \quad (4.1)$$

Враховуючи, що відновлений 1 вал ТК буде працювати в 2,5 рази довше,

то

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{баз}} \times 2,5 = 2,0 \times 2,5 = 5,0 \text{ років.} \quad (4.2)$$

4.3. Розрахунок економічної ефективності розробки

$$E = C_{\text{баз}} : T_{\text{баз}} - C_{\text{нов}} : T_{\text{нов}} = 160 : 2,0 - 175 : 5 = 45,0 \text{ грн} \quad (4.3)$$

4.4 Розрахунок окупності капітальних затрат

Окупність капітальних вкладень (Фок) можна визнати наступним чином

$$\Phi_{\text{ок}} = C_{\text{об}} : E = 50\,000 : 45,0 = 1111 \text{ шт. валів,} \quad (4.4)$$

де $C_{\text{об}} = 50000$ грн (див. табл. 4.1)

Згідно того, що два працівника за добу відновлюють приблизно 50 валів, то добова ($T_{\text{доб}}$) окупність буде:

$$T_{\text{доб}} = \Phi_{\text{ок}} : 50 = 1111 : 50 \sim 22 \text{ доби.}$$

Таким чином, економічна ефективність розробки складає 45,0 грн на відновлення 1 валу, а добова окупність близько 22 діб.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Проведений аналіз умов роботи турбокомпресорів, які знайшли широке застосування в фермерських господарствах, показав основні причини виходу з ладу їх відповідальних деталей та вузлів.

2. Розглянутий сучасний метод ремонту деталей типу валів за рахунок використання полімерних матеріалів Belzona. Визначені його переваги та недоліки.

3. В результаті проведеного літературного і патентного пошуку встановлено, що серед багатьох ремонтних технологій деталей машин екологічно безпечними є: електроіскрове легування (ЕІЛ), поверхнева пластична обробка (ППД), відновлення полімерними матеріалами (ПМ).

4. Розроблена методика проведення робіт по відновленню валів зі сталі 45 методом електроіскрового легування і вибору найбільш раціонального режиму

деформації при наступній ППД обкаткою кулькою, в залежності від мікротвердості поверхневого шару.

5. В результаті аналізу напружено-деформованого стану поверхневого шару валу після ЕІЛ+ППД, визначені основні параметри вогнища деформації: глибина наклепаного шару $h_s = 3,15$ мм; діаметр кульки = 19 мм при навантаженні $P = 0,9$ кН і інтенсивність деформації $\sigma_i = 0,11$.

6. При відновленні зношених поверхонь валу потрібно використовувати комбіновану технологію, яка складається з екологічно безпечних технологій задіяних в послідовності ЕІЛ+ОК+ПМ.

7. По матеріалам дипломної роботи опубліковані дві наукові роботи (додаток Б).

Використані літературні джерела:

1. Як відремонтувати зношений вал за допомогою методу формування <https://blog.belzona.com/worn-shaft-repair/>
2. Иванов В.І.; Бурумкулов, Ф. К. Удосконалення і збільшення ресурсу об'єктів електроіскровим методом: Класифікація, особливості технології. *Електр. Серфінг. Пригоцати. Методи* **2010**, 46, 27–36. [[Google Scholar](#)]
3. Михайлюк А.І.; Гітлеціх А. Є. Застосування графіту в електроіскрових технологіях. *Електр. Серфінг. Пригоцати. Методи* **2010**, 5, 37–44. [[Google Scholar](#)]
4. Саржанов О.А., Саржанов Б.О. Аналіз методів ремонту відповідальних деталей центрифуг для стічних вод // Вісник Сумського національного аграрного

університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2016. Вип. 10(3). С. 58-62.

5. Саржанов Б.О. Новий спосіб підвищення якості покриттів при відновленні деталей методом електроерозійного легування // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2019. Вип. 68. С. 96-102.

6. Tarelnyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., Gerasimenko V., Sarzhanov B. Improvement of integrated technology for restoring surfaces of steel and iron parts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. –Vol. 233. doi:10.1088/1757-899X/233/1/012050

7. Martsynkovskyy V., Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Antoszewski B., Kundera C., Dyadyura K., Tarelnyk N., Sarzhanov B., Mikulina M., Gapon O., Semernya O. New Process for Forming Multicomponent Wear-Resistant Nanostructures by Electrospark Alloying Method. Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings. Springer Proceedings in Physics. 2019. vol 240. p. 135-149 https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_13

8. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Sarzhanov B. Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. Key Engineering Materials. 2020. vol 864, p. 265–277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>

9. Tarelnyk V., Gaponova O., Myslyvchenko O., Sarzhanov B. Electrospark Deposition of Multilayer Coatings. Powder Metall Met Ceram. 2020. vol 59, p. 76–88. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00140-x>

10. Тарельник В.Б. Управління якістю поверхневих шарів комбінованим електроерозійним легуванням. Суми: МакДен, 2002. 324 с.

11. Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Саржанов О.А., Павлов О.Г., Волошко Т.П., Саржанов Б.О. Відновлення поверхні сталевих та чавунних деталей застосуванням комбінованої технології електроерозійного легування та армованих металополімерних покриттів. Вісник Сумського національного

аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". Суми, 2017. Вип. 10 (32). С. 3-11.

12. Тарельник В.Б. Триботехнологія деталей машин: навчальний посібник / Тарельник В.Б., Коноплянченко Є.В., Марцинковський В.С., Антошевський Богдан. – Суми : Видавництво «Мак Ден», 2010. – 264 с.

13. 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

ДОДАТКИ