

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра Технології та засоби аграрного виробництва

Пояснювальна записка до дипломної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти магістр

на тему: **Дослідження технології відновлення деталей сільськогосподарської
техніки з використанням процесів електроіскрової обробки**

Виконав: здобувач вищої освіти за ОПП
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти магістр групи ____
Бабич Я. В.
Керівник: Іванкова О.В.

Рецензент: _____

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Дослідження технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки з використанням процесів електроіскрової обробки»: 69 с., 30 рис., 10 табл., 2 додатки, 38 джерела.

Об'єктом дослідження є зношені поверхні валів ротора турбокомпресора двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) сільськогосподарської техніки а також методи і способи їх відновлення.

Предмет дослідження – дефекти та зносів валів ротора турбокомпресора ДВЗ, що відновлюються зміцнюючими технологіями відновлення.

Мета роботи: розробка сучасної технології відновлення валів ротора турбокомпресора двигунів внутрішнього згорання сільськогосподарської техніки

Для вирішення даних задач використовували такі дослідження: - аналізу та синтезу; абстрактно-логічний: теоретичне узагальнення; математичної статистики; металографічного аналізу: визначення твердості та мікротвердості, мікроструктурний аналіз матеріалу, випробування відновлених деталей на зносостійкість; сформульовані висновки.

Результати проведених досліджень: проведений аналіз характерних дефектів та зносів валів ротора турбокомпресора двигунів та способів їх відновлення; обґрунтовано можливість використання обраного способу для відновлення; обґрунтовано вибір технологічного обладнання та матеріалу, підібрані та розраховані параметри режимів; приведені результати експериментальних досліджень; проведена екологічна експертиза розробленої технології та розроблено заходи з охорони праці; виконано техніко-економічне обґрунтування використання обраної технології.

Визначена собівартість відновлення валів ротора турбокомпресора при розробленому технологічному процесі 882,6 грн., що нижче ціни нової деталі.

Ступінь впровадження результатів роботи – результати використовувалися при розрахунку режимів відновлення валів ротора турбокомпресора двигунів.

Галузь застосування – агропромислове виробництво.

Ключові слова: ТУРБОКОМПРЕСОР, ВАЛ, РОТОР, ДОСЛІДЖЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОІСКРОВА ОБРОБКА, СУЦІЛЬНІСТЬ ПОКРИТТЯ, ТВЕРДІСТЬ, МІКРОСТРУКТУРА, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ВСТУП

Одним з головних перспективних напрямків підвищення ефективності технічного сервісу сільськогосподарської техніки є відновлення зношених деталей. Ціна відновлених деталей суттєво нижча ціни нових. При цьому заощаджуються: чорні і кольорові метали, електроенергія, меншою мірою забруднюється навколишнє середовище.

Своєчасний ремонт сільськогосподарської техніки дає можливість забезпечити безперервний виробничий процес, що запобігає економічним втратам аграрного комплексу країни. Відновлення окремих деталей механізму чи агрегату відновлює ресурс всієї машини. Сучасні методи відновлення зношених деталей машин направлені на досягнення максимального післяремонтного ресурсу роботи машини.

Використання сучасних технологій наближує відновлені деталі машин по рівню їх надійності до нових деталей машин. Перетворює вторинні ресурси виробництва на альтернативні.

Розробка і впровадження технологій відновлення деталей, які дають можливість підвищити післяремонтний ресурс машин, піднімають на новий рівень економічність технологічного процесу є важливою задачею для галузі ремонтного виробництва.

Отже, реальною стратегією забезпечення роботоздатності сільськогосподарської техніки є відновлення деталей. Розробка інноваційних технологій відновлення деталей є одним із пріоритетних напрямків.

Основною причиною експлуатаційних відмов валів техніки є знос різної інтенсивності робочої поверхні

Останнім часом велика увага приділяється вдосконаленню і розвитку методів з використанням висококонцентрованих джерел енергії таких як: лазерна, плазмова і електроіскрова. Їх використання дозволяє одержати на поверхні деталей шари з великою твердістю і високою якістю покриття одночасно вони не

впливають на зміну основного шару матеріалу.

В дипломній роботі на тему «Дослідження технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки з використанням процесів електроіскрової обробки» ми розглянули основні способи відновлення деталей типу вал. Ця тема була вибрана через її актуальність на сучасний момент.

Мета дослідження - розробка режимів сучасної технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки із застосуванням електроіскрової обробки

Для досягнення мети нам потрібно вирішити комплекс наукових завдань:

- провести аналіз характерних зносів валів ротора турбокомпресорів двигунів внутрішнього згорання сільськогосподарської техніки, та способів їх відновлення;
- обґрунтувати можливість використання обраного способу – електроіскрового нарощування для відновлення;
- обґрунтувати вибір обладнання та матеріалів для утворення покриття;
- дослідити параметри режиму і розробити оптимальні режими електроіскрового відновлення;
- провести металографічні дослідження та випродування зносостійкості відновлених валів; проаналізувати вплив оброблених поверхонь на надійність відновлених деталей;
- обґрунтувати ефективність обраного способу відновлення;
- узагальнити результати досліджень та сформулювати рекомендації по їх впровадженню на ремонтних підприємствах.

Об'єктом дослідження є зношені поверхні валів роторів турбокомпресорів сільськогосподарської техніки, а також методи і способи їх відновлення.

Предмет дослідження – дефекти валів роторів турбокомпресорів, що відновлюються зміцнюючими технологіями відновлення.

Методи дослідження: 1) аналіз зносів та дефектів деталей та способів їх відновлення, 2) математичної статистики; 3) металографічного налізу: визначення мікротвердості, мікроструктурний аналіз матеріалу, 4) визначення зносостійкості відновлених деталей; 5) синтез: порівняння та узагальнення результатів проведених досліджень.

Теоретична значущість - підтвердження можливості використання відновлення валів роторів турбокомпресорів двигунів електроіскровим наросуванням, а також використання результатів для відновлення інших деталей. Практична значущість - підтвердження можливості застосування даного методу на ремонтних підприємствах з метою збільшення надійності та довговічності деталей.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз конструкції та умов роботи виробу

Двигуни внутрішнього згорання сучасної сільськогосподарської техніки мають відповідати вимогам до рівня їх потужності, економічності та екологічної безпеки.

Ефективність експлуатації двигунів забезпечується таким прийомом, як форсування двигуна. Це у багатьох випадках – метод газотурбінного наддуву. Використання цього методу останнім часом широко використовується та розвивається.

Турбокомпресори марки ТКР є одними з найпоширеніших. Їх успішно експлуатують на тракторах МТЗ – 1221, МТЗ-1025, ПМЗ – 8544, автомобілях ГАЗ, КАМАЗ і МАЗ та іншої техніки, зокрема і іноземного виробництва.

У переважній більшості зараз використовується одноступінчастий наддув. Суть одноступінчастого наддуву полягає у тому, що компресор засмоктує через повітряний фільтр повітря, стискає його і подає у впускний колектор двигуна. Головний принцип дії: чим більше повітря буде подаватися в циліндри двигуна, тим більша кількість палива буде спалюватися.

Потужність двигуна залежить від кількості суміші палива і повітря, яка подається у двигун. Для підвищення потужності двигуна необхідно збільшувати об'єм суміші повітря і палива. Але подачею великої кількості палива не можливо достатньо підвищити потужність, адже буде утворюватися надлишок палива, яке не згорає, а це викликатиме перегрівання двигуна.

Турбокомпресори поділяють на певні групи за такими основними ознаками:

По конструкції робочого профілю компресори поділяються на такі типи:

- 1). з постійною геометрією, ТКР 11Н-1 (на двигунах СМД), серія ТКР-6.1.6.5 (на двигунах Д-245 та модифікаціях);
- 2). із змінною геометрією: Garret T-25-VNT (двигуни f9q);

3). по наявності перепускного клапана - із внутрішнім клапаном: Garret GT28 (двигуни BWA), KKK K03 (двигуни AJK); без клапана - CZ K-27 (двигуни КАМАЗ 740.31-240);

4). по конструкції підшипникового вузла: - з нерухомою моноштулкою - ТКР 11Н (двигуни ЯМЗ 238); ТКР 7Н1 (двигуни Д-440; Д-442); - з нерухомою моноштулкою і торцевим підшипником - Garret T-25-VNT (двигуни f9q), сімейства ТКР-6 (двигуни Д-245); - з двома штулками, які обертаються та торцевим упорним підшипником - Schwitzer S2B (двигун КАМАЗ 740.30-240); ТКР 7С6, (двигун КАМАЗ 740.61), Cz K-27 (двигун КАМАЗ 740.31-240).

Підвищення потужності двигуна досягається такими способами:

1 - збільшенням робочого об'єму, тоді збільшується розміри і вага та вартість двигуна;

2 - підвищенням числа обертів, але тоді виникають технічні проблеми.

Інший шлях – застосувати компресор, який забезпечує стиснення повітря при подачі у двигун перед нагнітанням його у камері згорання.



Рисунок 1 – Загальний вигляд турбокомпресорів ТКР-11 і ТКР-7н1

Відцентровий повітряний насос компресора і турбіна, мають спільну жорстку вісь. Насос і турбіна працюють з однаковою швидкістю і в одному напрямку. Потік відпрацьованих газів двигуна приводить в дію компресор. Це сприяє зниженню температури газів та їхнього тиску. А також покращується, згорання палива, а значить, і характеристики двигуна.

Переваги турбокомпресорного двигуна.Двигуни з турбокомпресором мають високі технічні та суттєві економічні переваги, в тому числі співвідношення маса - потужність в порівнянні з двигунами без турбіни.

Встановлений на двигуні турбокомпресор покращує згоряння палива, зменшує токсичність відпрацьованих газів. Двигун з компресором працює більш стабільно порівняно з його аналогом такої ж потужності.

Турбокомпресор має ресурс такий як ресурс двигуна, але вважається «слабким місцем» двигуна. Більшість відказів турбонаддува пов'язана з проблемами не у самому компресорі, а позайого межами.

Покращення температурного режиму роботи двигуна є одним з найважливіших завдань у процесі модернізації двигунів внутрішнього згоряння. Перспективним є застосування турбокомпаунду.

Принцип дії турбокомпаунда полягає в тому, що відпрацьовані гази спочатку приводять у дію одну турбіну, а на виході з неї – другу турбіну, а потім виводяться через вихідну трубу. Друга турбіна тільки допомагає обертатися колінчастому валу двигуна через гідромуфту й шестеренний редуктор. Друга турбіна ще й додатково знижує температуру відпрацьованих газів приблизно на 100°C. Енергія відпрацьованих газів знову приносить користь, отже, турбокомпаунд має перспективи. Турбокомпаунд уже встановлюють у серійних двигунах концерну Scania.

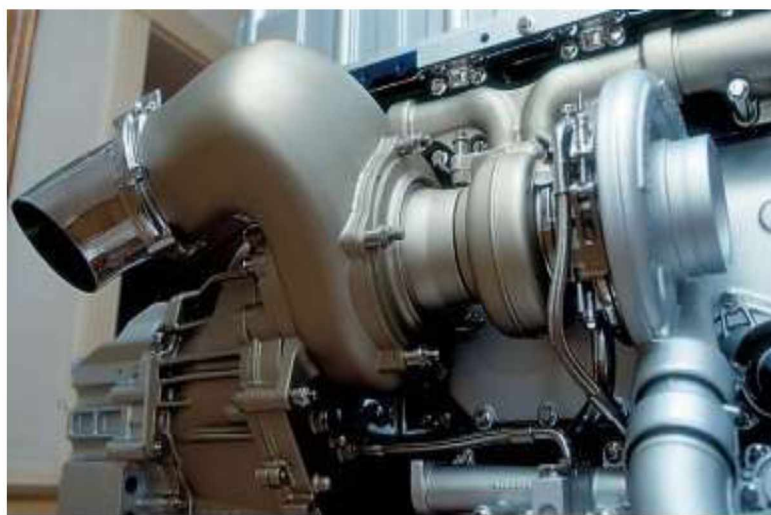
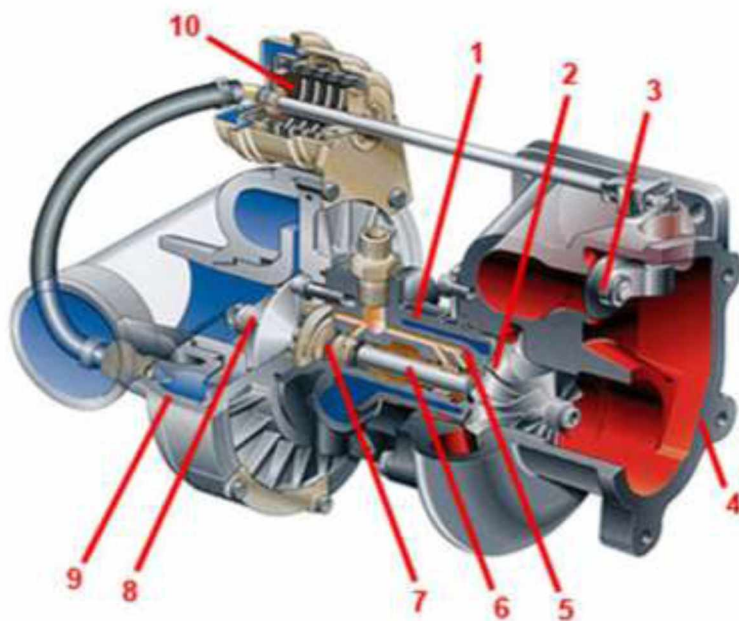


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд турбокомпаунда

Будова турбокомпресора



1 - корпус підшипників; 2- турбінне колесо; 3 - перепускний клапан
 4 - корпус (равлик) турбіни; 5 – масляні канали; 6 – вал ротора; 7 - підшипник ковзання; 8 – компресорне колесо; 9 - корпус (равлик) компресора; 10 - пневмопривід перепускного клапана.

Рисунок 1.3 - Будова турбокомпресора

Металевий корпус системи підшипників забезпечує розташування плаваючої системи підшипника валу турбіни і компресора, який може обертатися зі швидкістю до $170,000 \text{ хв}^{-1}$. Складна геометрична конструкція для охолодження. Основні вимоги: якість обробки, жорсткість, термостійкість

Турбінне колесо встановлено в корпусі турбіни та з'єднане штифтом, який обертає крильчатку компресора. Покрито нікелевим сплавом. Зроблено із міцних та стійких сплавів. Витримує температуру роботи до 760°C . Основні вимоги: стійкість до зношування, деформацій, корозії.

Перепускний клапан - керований пневматичним приводом (рис. 1.3), при певній величині тиску наддуву направляє частину газів, що відпрацювали, в обхід турбіни, тим самим обмежує тиск наддува ДВЗ. Обмеження тиску наддуву здійснюють з метою захистити двигун від навантаження;

Корпус (равлик) турбіни - виготовляється з різних сортів сфероїдованого чавуну, щоб протистояти тепловому впливу та руйнуванню. Як і крильчатка,

профіль равлика оброблений до повної відповідності формі лопатей крильчатки. Впускний фланець равлика турбіни працює як установча база для закріплення турбіни, що несе навантаження. Основні вимоги: удароміцність, стійкість до окислення, жароміцність, жаростійкість, легкість механічної обробки.



Рисунок 1.4 – Підшипники ковзання (втулки) ротора турбокомпресора

Частота обертання ротора сучасних турбокомпресорів може досягати 200 000 хв.⁻¹ і більше. Навантаження на опорні підшипники визначаються відцентровими силами від невіднованих мас ротора. У турбокомпресорах застосовують переважно підшипники ковзання.

Ротор турбокомпресора обертається в опорному радіальному підшипнику, який може виконуватися у вигляді двох бронзових плаваючих втулок або плаваючої моновтулки для високонавантажених турбокомпресорів. Раніше випускалися турбокомпресори, де підшипником служила хитна моновтулка, яка фіксувалася від провороту і осьового переміщення фіксатором. У сучасних турбонагнітачах передбачений упорний підшипник, який запобігає осьовому переміщенню ротора.

Підшипник ковзання (втулка) (рис. 1.4) - виготовлений із спеціально розроблених бронзових або мідних сплавів. Спеціально розроблений виробничий процес призначений для створення підшипників з необхідними якостями термостійкості та зносостійкості. Стопорні, упорні сталеві кільця та масляні проточки виготовляються особливо точно. Осьовий тиск поглинається бронзовим гідродинамічним підшипником осьового тиску, розташованим наприкінці

складання валу. Точне калібрування забезпечує рівномірне навантаження підшипника.

Підшипники для турбокомпресорів виготовляються з бронзових або алюмінієвих сплавів. Іноді підшипники виготовляються із спеціальних сплавів методом порошкової металургії. Радіальні підшипники обертаються з частотою, удвічі меншою, ніж частота валу ротора, що дозволяє працювати на різних режимах без прямого контакту між підшипником і валом.

Підведення масла до підшипників здійснюється із системи мащення двигуна. Крім функції мащення та охолодження, масляна плівка має роль демфера, який сприяє стабільній роботі валу ротора турбокомпресора.

Вихлопні гази діють на турбінне колесо в осьовому напрямку з різною силою, залежно від навантаження, тому ротор зазнає осьового навантаження. Осьове навантаження ротора сприймається упорним підшипником, який встановлюється, як правило, з боку компресора і кріпиться в корпусі підшипників гвинтами. Упорний підшипник забезпечує стабільність зазорів між колесом та корпусом компресора.

Упорні підшипники для турбокомпресорів виконуються з того ж матеріалу, що й радіальні.

Компресорне колесо виконане з алюмінієвих сплавів методом лиття, на деяких моделях крильчаток, для дуже важкої та тривалої роботи при великих температурах, лопаті виготовляються з титану. Точні розміри лопатей крильчатки та точна механічна обробка важливі для нормальної роботи компресора. Розточування та полірування підвищує коефіцієнти опору втоми. Крильчатка розташована на збиранні валу. Основні вимоги: високий опір втоми, розтягуванню, корозії.

Корпус (равлик) компресора - відлита з алюмінію. Використовуються різні сплави різних типів компресорів. Використовуються як вакумне лиття, так і лиття у піщано-глиняні форми. Точна фінальна обробка для дотримання розмірів та якості поверхонь, необхідних для нормальної роботи турбіни. Основні вимоги: міцність до ударних та механічних навантажень, висока якість обробки та точні

розміри. Пневмопривід перепускного клапана - керує перепускним клапаном, для обмеження тиску наддуву та захисту двигуна від перевантажень.



Технічні характеристики компресора ТКР – 11Н: [9].

- подача турбокомпресора, кг/с
 $0,185 \pm 0,0027$.
- діаметр колеса компресора, мм 110.
- діаметр колеса турбіни, мм 110.
- частота обертання ротора, хв.⁻¹ 45000.
- ККД компресора, щонайменше 0,71.
- ККД турбіни, щонайменше 0,70.
- габаритні розміри мм 304X366X270.
- маса кг 21,0.

Вал ротора - одна з основних частин газової турбіни турбокомпресора. Він складається з колеса турбіни і власне валу, з'єднаних методом зварювання тертям.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд ротора турбокомпресора ТКР – 11Н

Заготовка колеса турбіни виготовляється з жароміцного сплаву на нікелевій основі методом лиття по моделях, що виплавляються. Перед зварюванням заготовка колеса торцюється з боку диска, а в бобишці свердлиться невеликий отвір для кращого зварювання з валом.

Заготовка валу виготовляється з високоякісної конструкційної сталі 40Х. З одного боку валу висвердлюється отвір, рівний отвору в колесі турбіни для поліпшення зварюваності.

Подальша обробка валу та колеса турбіни проводиться спільно:

- проточується у розмір посадочне місце під установку газомасляного ущільнення, прорізаються канавки під кільця ущільнювачів і теплова канавка;
- гартується на установці СВЧ, а потім шліфуються посадочні місця під радіальні підшипники ковзання;
- шліфується поверхня під установку деталей завязаного підшипника, втулки газомасляного ущільнення;
- нарізається різьба під спеціальну гайку.

Вал ротора турбокомпресора ТКР – 11Н виготовлений із сталі 40Х.

Основні показники міцності сталі 40Х приведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Показники міцності сталі 40Х [29]

Марка сталі	Показники міцності, МПа		
	Межа міцності при розтягуванні	Межа втомної міцності при вигинанні	Межа втомної міцності при крученні
Сталь 40Х	740	305	170

Витривалість валу (міцність при змінних в часі напругах) залежить від його конструктивних форм, а саме, у місцях переходу між ступенями, шліців, пазів та отворів. Це пояснюється тим, що у таких місцях виникає концентрація напружень кручення і згину. Різьба різко підвищує концентрацію напружень.

Після механічної обробки, вал ротора турбіни підлягає динамічному балансуванню на спеціальному балансувальному верстаті.

1.2 Характеристика існуючих способів і технологій відновлення характерних зносів

Основні дефекти. В процесі експлуатації в турбокомпресорах поступово порушуються герметичність ущільнень вала ротора, збільшується зазор між шийкою валу ротора і підшипником, а також між підшипником і корпусом.

Зношується торцева частина підшипника. На робочих колесах турбіни та інших деталях утворюється смолянисті відкладення та нагар.

У валах роторів зношуються шийки під підшипники і втулки, канавки під ущільнювальні кільця, пошкоджується різьба, зношуються поверхні турбіни зовні і торцевої поверхні, з'являються тріщини на колесі, вигинається вал ротора.

При тріщинах та оплавленні лопаток, а також зменшенні діаметра коліс ротора і компресора до розміру менше 109,5мм і товщини диска ротора менше 1,6мм ротор вибраковується. У випадку, якщо колесо турбіни справне вал відрізається, а до колеса приварюється зварюванням тертям заготовка, а потім вал обробляється на номінальний розмір.

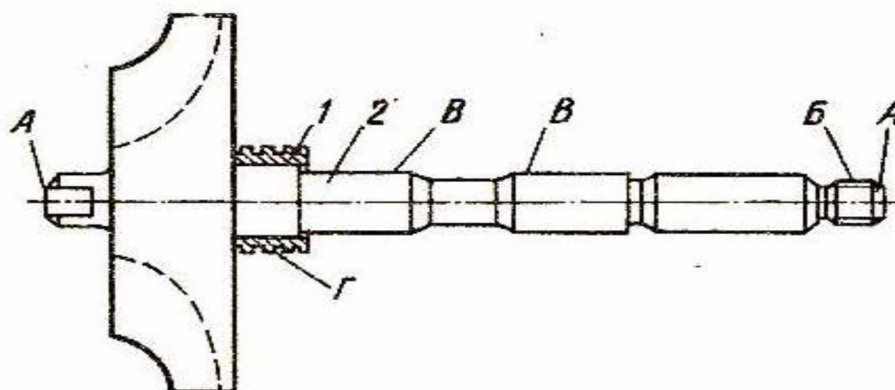
Зношені поверхні вала ротора турбокомпресора можуть бути відновлені на ремонтний розмір, або методом залізнення чи хромування з наступним шліфуванням на нормальний діаметр.



Рисунок 1.6 – Технологічний процес шліфування валу ротора

Після відновлення перевіряється динамічне балансування ротора на балансувальній машині ДБ 10 (ДБ 50). Балансується вал окремо від ротора в площині колеса турбіни і в площині колеса компресора (допустимий дисбаланс не повинен перевищувати $2 \cdot 10^{-5}$ Н м

На рисунку 1.4 приведений вал ротора з місцями дефектів



1 – втулка; 2 – вал; місця зносу або пошкодження: А – центрових фасок, Б - різьби; В – шийок під підшипник; Г – канавок під ущільнюючі кільця
Рисунок 1.4 – Вал ротора в сборі [8].

У таблиці 1.1 приведені посадки в спраженнях турбокомпресора

Таблиця 1.1 - Посадки в спраженнях турбокомпресора

Спраження деталей	Розміри в спраженнях, мм		
	Зазор		
Середній корпус- -підшипник	0,060 – 0,107	0,12	0,15
Підшипник – вал ротора	0,070 – 0,099	0,10	0,20
Ущільнювальна втулка – вал ротора - ущільнювальне кільце	0,06 – 0,16	0,18	0,25

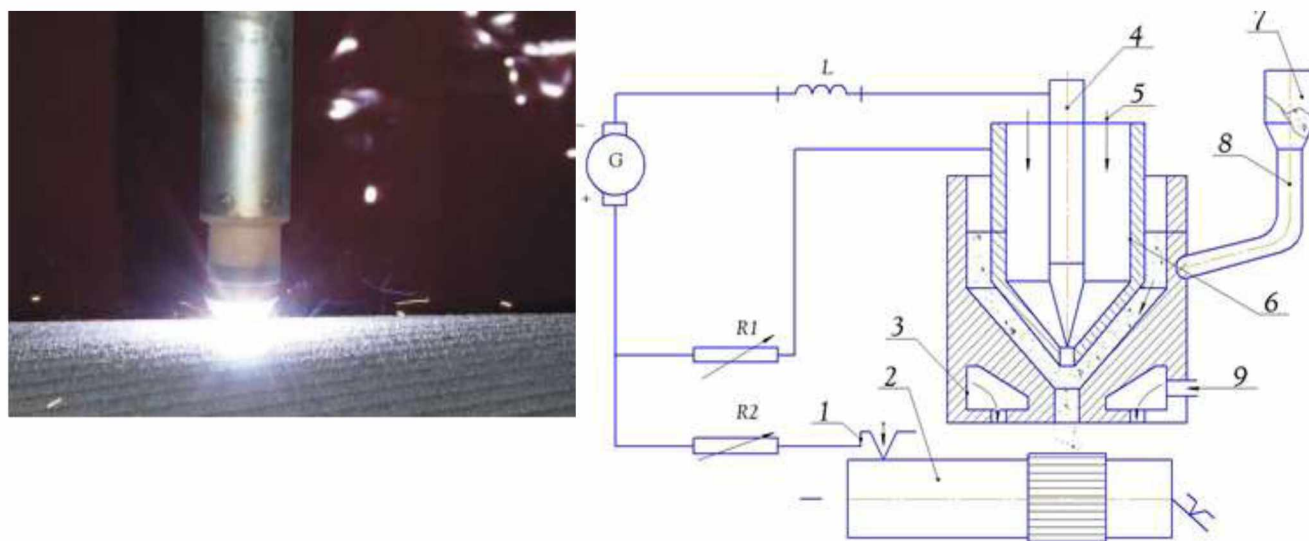
Вал не приймається на відновлення при наявності тріщин, викришувань та сколів.

1.2.1 Відновлення плазмово-дуговим напиленням

Плазма це іонізований, нагрітий до високої температури газ, створений дуговим електричним розрядом у каналі плазмотрона. При цьому супроводжується обдуванням електричної дуги потоком плазмотвірного газу - аргону, чи азоту (18000°C). Присадним матеріалом може бути електродний дріт або спеціальний порошок.

Пропускаючи газ через дуговий розряд вузького каналу плазмового пальника, одержують плазмовий струмінь. Канал пальника охолоджується водою. Стовп дуги стискається, іонізація дугового проміжку підвищується, а температура зростає до 15° - 18° тис. [10,11].

Схема технологічного процесу відновлення плазмово-дуговим напиленням зображена на рисунку 1.5 [9].



1 - дріт; 2 - деталь; 3 – сопло зовнішнє; 4 - вольфрамовий катод;
5 - плазмотвірний газ; 6 - сопло внутрішнє (анод); 7- живник; 8 – газ транспортуєчий; 9 – газ захистний; G - джерело струму

Рисунок 1.5 – Схема технологічного процесу відновлення плазмово-дуговим напиленням [9].

Для плазмового напилення і наплавлення промисловістю випускаються установки: УМП-5, УМП-6 і УПУ-3, УПУ-3Д. Цим способом на ремонтних підприємствах відновлюють розподільні вали автотракторних двигунів, вісі їх штовшачів, вали коробок зміни швидкостей тракторів, валики приводу вентилятора дизелів. Присадним матеріалом виступають порошки марок ПН701030 і ПХ23Н19. Товщина напиленого шару знаходиться в межах 0,6-0,8 мм [10].

1.2.2 Відновлення зношених деталей машин електролітичними покриттями

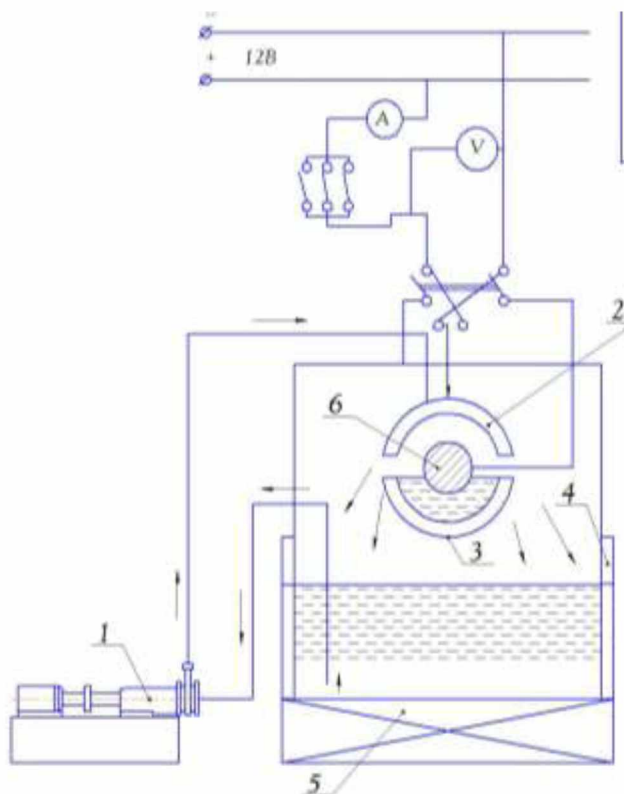
Електролітичні покриття використовуються з метою відновлення із зміцненням деталей сільськогосподарської техніки. Основні методи: хромування, залізнєння, цинкування, кадмування та інші. Мета нанесення покриттів – зміцнення поверхонь, антикорозійних захист [7].

У технологічному процесі використовують аноди з металу, що наноситься на деталь. Електроліт - розчин солей металу, який наноситься в дистильованій воді з кислотою, що забезпечує стабільність процесу і високу якість покриття.

Три стадії технологічного процесу нанесення електролітичних та хімічних покриттів:

- 1). підготовчі операції,
- 2). процес нанесення покриттів,
- 3). заключні операції.

Схема струминного електролітичного покриття у проточному електроліті приведена на рисунку 1.6. Електроліт подається з основної ванни 4 через анодну насадку на поверхню деталі 6, яка обертається, причому вона занурюється в електроліт у ванночці 3, а потім направляється в основну ванну 4.



1 – насос; 2 – анод; 3 – місцева ванночка; 4 – основна ванна; 5 – підігрівач; 6 – деталь (вал)

Рисунок 1.6 - Схема нанесення електролітичного покриття шийок валу

Заклучні операції: миття деталей, термічна і чистова механічна обробка.

1.2.3 Газотермічні способи відновлення

Газотермічне напилення - це процес нанесення покриття на поверхню деталей при допомозі високотемпературного струменя, що містить порошок або краплини розплавленого матеріалу, які осаджуються на поверхні під час зіткнення з нею [7,9].

Напилюванням отримують покриття з різних металів та сплавів як на металеву, так і на неметалеву основу, зокрема: скло, кераміку.

Переваги газотермічних способів:

- незначне нагрівання деталі (не вище 200°C), що дозволяє зберегти властивості та структуру основного матеріалу;
- формується покриття із широким спектром властивостей;
- можливість нанесення покриттів різної товщини;
- висока продуктивність технологічного процесу;
- напилені шари захищають поверхні від корозії і надають їм декоративного вигляду.

Основні види газотермічного напилювання, залежно від джерела теплової енергії для розплавлення металу: газополуменеве, газоелектричне (електродугове і плазмове).

Газополуменеве напилення. Суть полягає у тому, що порошковий матеріал або дріт розплавляється полум'ям горіння суміші газів і розпилюється інертним газом, або стиснутим повітрям.

Порошковий матеріал у зону горіння полум'я може подаватися або за допомогою транспортувального газу, або по трубці безпосередньо з бункера під дією сили тяжіння [13].

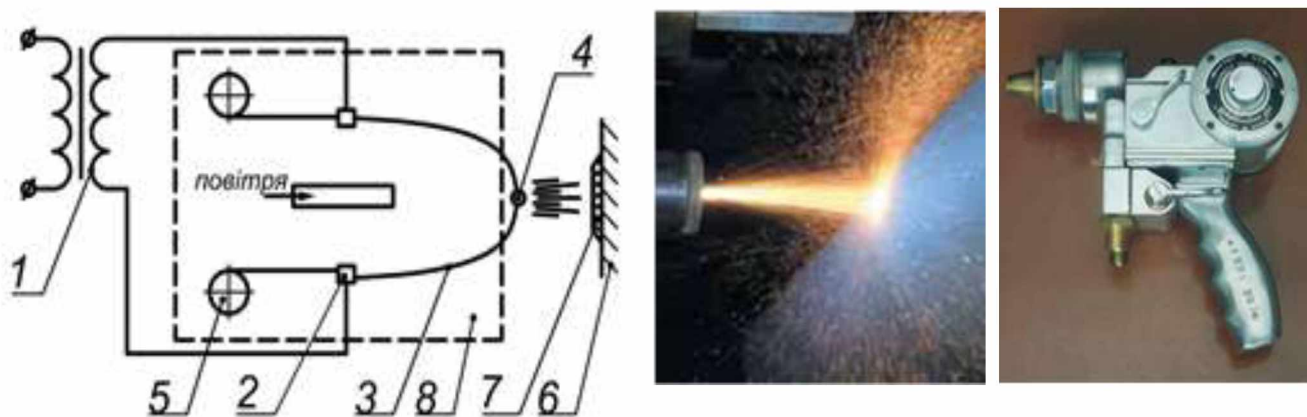
Спосіб подачі порошку інертними газами сприяє зниженню окислення розплавлених частинок металу. Подача порошку стиснутим повітрям характерна простотою технологічного обладнання і відсутністю транспортувального газу. Але має місце інтенсивна взаємодія порошку з навколишнім середовищем [7].

Зносостійкі залізні або нікелеві порошки, мають високі технологічні та експлуатаційні властивості, використовують для ремонту деталей, які експлуатуються при інтенсивному терті.

Використання електродугової металізації

Електродугове напилення – це процес, за якого присадковий матеріал, яким напиляють, розплавляється у спеціальному апараті електричною дугою, а потім за допомогою струменя стиснутого повітря наносять на робочу поверхню відновлюваної деталі.

При електродуговому напилюванні (рис. 1.7) два дроти з напилюваного металу діаметром 1 - 2 мм, з'єднані з електричним джерелом живлення, безперервно подаються за допомогою механізму подачі по напрямних концевниках. У точках їх зближення виникає електрична дуга, яка розплавляє метал. Останній стиснутим повітрям або інертним газом, який подається по каналах металізатора (газотермічне напилення у літературі часто називають металізацією), переноситься на поверхню зі швидкістю 100 – 300 м/с у вигляді частинок розміром 3 – 300 мкм [5,6].



а). схема процесу електродугової металізації б).технологічний процес в). металізатор

Рисунок 1.7 – Схема процесу електродугової металізації

Металевий дріт 3, розплавлений електричною дугою 4, що виникає між електродами (електродний дріт), розпилюється (розміри часток від 2 до 100 мкм) потоком повітря (0,5-0,6 МПа) і вкриває деталь 6 дрібними частками 7. Ці частки, б'ючись на великій швидкості (100-250 м/с) по поверхні, що покривається (що металізується), зчіплюються з нею, утворюючи складне покриття. Струмопровідні пластини 2 служать для підведення електроенергії до дротів-електродів від

джерела напруги 1 (комплект електродугової металізації КДМ-2). Дріт з касет 5 за допомогою подаючого механізму, що дозволяє регулювати швидкість руху, спрямовується в зону плавлення.

Утворення потоку напилюваних крапель відбувається за рахунок плавлення присадочного матеріалу високоамперною дугою і його диспергування швидкісним потоком газу [6,11].

Дуга, перебуваючи під впливом електродинамічних і газодинамічних сил, рухається в міжелектродному просторі. На другому етапі, тривалістю в 10,2-10,3с здійснюється винесення дуги за оплавлені електродні торці. Максимальна температура дуги при цьому складає близько 4000-6000⁰С. Метал інтенсивно плавиться. Тепло стовпа електричної дуги нагріває газ, який розпилює метал дроту. Смуга частот цих процесів: від 250 до 2500Гц. Розплавлені краплі підхоплюються із зони дуги потоком руху газу, з надзвуковою, або ж близькою до неї, швидкістю і переносяться до поверхні формування, де їх швидкість і швидкість газової дуги вирівнюються і складають 50-150 м/с.

Ця технологія має великий ряд переваг в порівнянні з традиційними процесами нанесення захисних покриттів, гальванічним цинкуванням або електролітичним хромуванням.

У Німеччині зношені деталі автомобільних двигунів відновлюють із застосуванням підшару із сталевого дроту марки 45C4Si34 діаметром 1,6мм [13]. У Румунії електродуговим напиленням дротів відновлюють тріщини у блоках циліндрів, посадочні місця підшипники ковзання. Міцність зчеплення досягає 80МПа. У Англії і Німеччині зношені деталі відновлюють із застосуванням хромонікелевого дроту [19]. У США відновлення зношених шийок валів роблять, використовуючи той же матеріал підшару, що і основного покриття - мартенситну нержавіючу сталь, що відрізняється високою зносостійкістю і низькою усадкою. Розпилення основного шару здійснюється при температурі дуги 3800⁰С–4000⁰С, швидкості напилення 13,6 кг/год. і струмі 300 А, а підшарку при нижчому тиску повітря. При відновленні деталей методом електродугової металізації широко використовують серійні установки електродугового напилення типу КДМ- 2 і стаціонарні металізатори ЕМ-14М і ЕМ- 15 [11,14].

1.2.4 Лазерне наплавлення

Лазерна технологія застосовується в ремонтному виробництві для зварювання та наплавлення. Лазерний промінь є джерелом тепла.

Установка для лазерного зварювання складається із замкнутої системи охолодження, оптичної системи фокусування лазерного променя і системи подачі інертного газу для захисту зварювальних деталей від окислення. Установка для лазерного наплавлення має також механізми подачі в зону наплавлення металевих порошків і обертання деталі та переміщення лазерного апарата [7, 12].

На рисунку 1.8 представлена схема установки для лазерного зварювання і наплавлення з рубіновим генератором.

Рубіновий стержень 9 опромінюється імпульсною лампою 8, яка живиться від конденсаторної батареї 11. Відбивач 7 і заднє дзеркало 10 направляють лазерний промінь 6 на напівпрозоре дзеркало 5 і через поворотне дзеркало 4 фокусують лінзу 3 на деталь 1, яку наплавляють. Трубою 12 вводять наплавний порошок. Для захисту розплавленого металу від окислення через сопло 2 в зону наплавлення подають захисний газ (аргон).

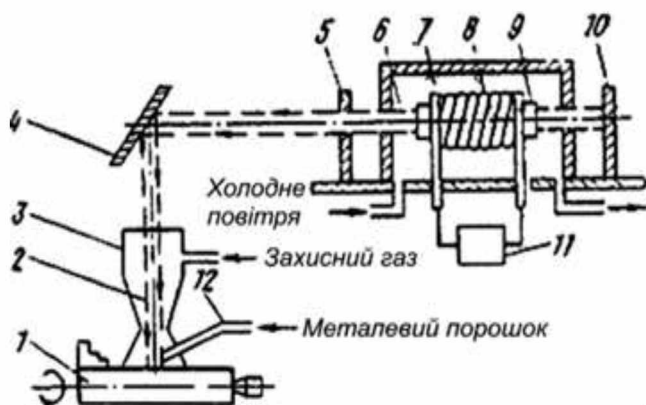


Рисунок 1.8 – Схема установки для лазерного наплавлення

Найбільш якісне покриття отримують з використанням самоформуючих порошків марки СНГН. Твердість наплавленого шару досягає HRC 60...63, міцність зчеплення з основним металом – 250 МПа [16].

Переваги лазерного наплавлення: висока мобільність променя, який можна направити у важкодоступні ділянки виробу; незначне нагрівання виробу, що практично виключає утворення зони термічного впливу.

Недоліки: складність установок для лазерного зварювання і наплавлення. Незважаючи на це, ці методи знаходять широке застосування в ремонтній галузі.

1.2.5 Електроіскрове нарощування металу

Широке застосування на практиці для виготовлення, ремонту із зміцненням використовуються методи, які ґрунтуються на використанні концентрованих потоків енергії. В зоні нагріву питома потужність при цьому сягає понад 100 Вт/мм². Виходячи із аналізу енергетичних характеристик відомих методів відновлення, найбільшу концентрацією енергії має електрична іскра.

Вперше властивості електричних розрядів дослідили відомі вчені: Роберт Бойль (1694р.), Бенджамін Франклін (1751р.), Джозеф Прістлі (1766р.), Ліхтенберг Георг Крістіан (1777р.)

У 1938 році Л. А. Юткін виявив, що серія електроіскрових розрядів може створювати гідравлічні формоутворюючі удари. Це дало поштовх використанню електроіскрового штампування металів [15]. У 1943 році подружжя науковців Б. Р. Лазаренко і Н. Й. Лазаренко, запропонували використати для властивості електроерозійних розрядів формоутворення в повітряному проміжку. Методи металообробки, що базуються на принципах електроіскрової обробки широко використовуються у промисловості.

Використання методів електроіскрової обробки забезпечує [14-16]:

- отримання поверхонь тертя, що володіють заданими властивостями;
- зміцнення нарощеного шару при збереженні вихідних властивостей серцевини деталі;
- нарощення шару з нетехнологічних зносостійких матеріалів: чавунів, високо вуглецевих заєвтектоїдних сплавів;
- формування дрібнозернистого зміцненого шару;
- формування метастабільних фаз сплавів;

- через швидку кристалізацію розширення розчинності легуючих елементів.

Недоліки:

- мала товщина шарів, які наносяться на поверхню (0,2-1,0мм);
- невисока продуктивність обробки;
- складність створення мікрорельєфу заданої шорсткості.

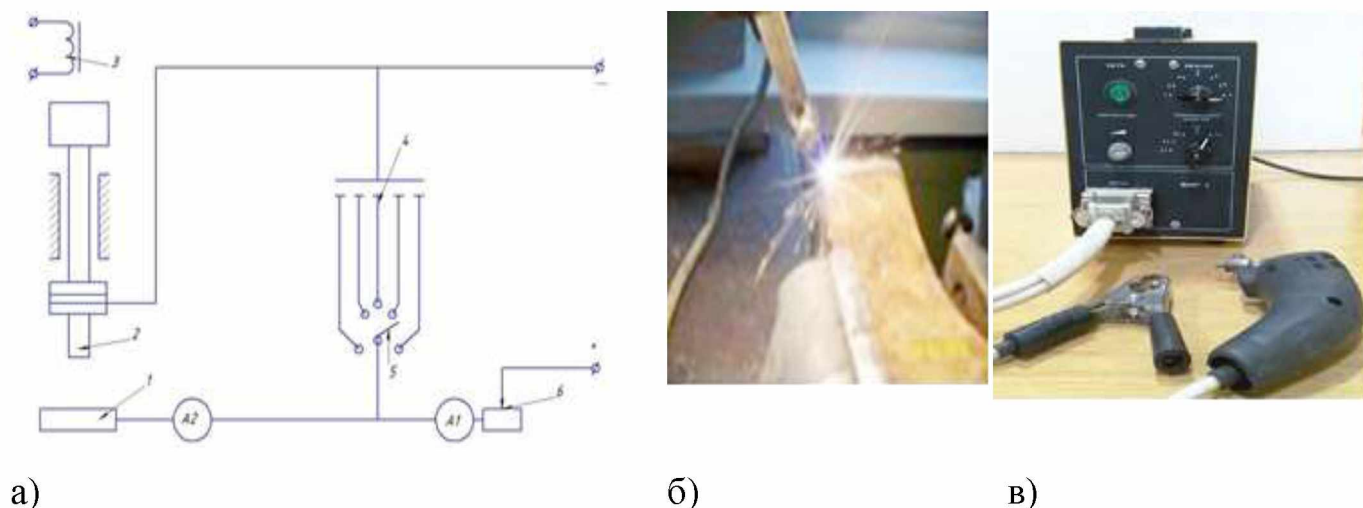
Ці недоліки не є суттєвими, тобто вони не обмежують використання процесу. Наприклад, електроіскрова обробка має високу ефективність, коли знос деталі $\leq 1,0$ мм. З аналізу літературних джерел [16,17] видно, що 90% відсотків зношених деталей машин зношуються до 0,1мм. А для збільшення продуктивності процесу доцільно використовувати одночасно декілька електродів.

Методами електроіскрової обробки в даний час відновлюють з метою: підвищення зносостійкості та твердості поверхні деталей машин, що експлуатуються в умовах значного навантаження, великих швидкостей обертання, при підвищених температурах; підвищення корозійної стійкості поверхні; зміни властивостей інструментальних сталей та поверхонь виробів з кольорових металів.

Електроіскрове нарощування базується на явищах електричної ерозії - руйнування металу електрода-анода (інструменту) 2 (рис. 1.9) і перенесення його на катод (деталь) при виникненні розрядів іскрових між ними.

Суть процесу електроіскрового нарощування в наступному. При великому проміжку між електродом і деталлю електричний ланцюг розмикається і у системі накопичується енергія. Якщо міжелектродний проміжок зменшується, напруженість електричного поля стає достатньо великою для утворення між деталлю та електродом електричного іскрового розряду. Через утворений канал, миттєво проходить вся, накопичена в системі енергія.

Потік електронів, що рухається з дуже високою швидкістю, вдаряються у поверхню анода. Це явище миттєво нагріває частину поверхні анода до дуже високої (10000- 14000°C) температури. Під її дією анодний об'єм дуже швидко плавиться, закипає та вибухає. Під час цього вибуху частинки розплавленого анодного металу розбризкуються і, долітаючи до поверхні катода (деталі), осідають на ньому.



1 - оброблювана деталь; 2 - електрод; 3 - вібратор; 4-конденсатор;
5 - перемикач; 6 - реостат; A_1 - амперметр мережі живлення; A_2 - амперметр розрядного ланцюга.

Рисунок 1.9 - Схема електроіскрової установки [15]

Висновки

Ми провели дослідження умов експлуатації валів роторів турбокомпресорів двигунів сільськогосподарської техніки, характеристик зміни властивостей в процесі використання їх ресурсу. На основі цих досліджень та на підставі результатів огляду літературних джерел ми можемо зробити наступні висновки.

1. Конструкція валів роторів турбокомпресорів двигунів сільськогосподарської техніки, а також навантаження в роботі, зумовлюють високі вимоги до їх якості. В зв'язку з цим важливим є питання застосування ефективних методів їх ремонту.

2. Традиційні методи відновлення, що ґрунтуються на процесах наплавлення, застосовувати не доцільно, так як високотемпературна обробка вуглецевих і низьколегованих сталей приводить до виникнення високого рівня внутрішніх напружень і утворення тріщин. Тому необхідно обрати таку технологію відновлення, яка без істотного термічного впливу забезпечувала б високий рівень якості відновлення.

3. Серед методів, які не змінюють структуру серцевини відновлених деталей, з точки зору технологічності і економічності найбільш доцільною є технологія електроіскрового наплавлення. Останнім часом розроблений великий теоретичний і експериментальний матеріал по застосуванню електроіскрового

нарощування, але недостатня дослідженість використання методу у відновленні автотракторних деталей стримує широке його впровадження для відновлення зношених деталей двигунів сільськогосподарської техніки.

1.3 Обґрунтування теми дипломної магістерської роботи

Розробка і впровадження прогресивних технологій відновлення деталей машин є найважливішим завданням по вдосконаленню системи технічного сервісу аграрного виробництва.

Актуальність теми. Відновлення зношених деталей машин методами електроіскрового нарощування наразі немає широкого застосування в нашій країні. Технологічний процес електроіскрового нарощування дозволяє інтенсифікувати відновлення деталей автотракторних двигунів. Впровадження даного методу є прогресивним напрямком в галузі технічного сервісу, можливості якого не повністю з'ясовані. Отже, дослідження розширення технологічних можливостей використання методів електроіскрового нарощування, є однією з **актуальних задач**.

Необхідні дослідження можливостей застосування електроіскрового нарощування для відновлення деталей типу вал з метою підвищення післяремонтного ресурсу деталей, ресурсозбереження та зменшення затрат праці.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є вивчення технологічного процесу електроіскрового нарощування для виявлення можливостей відновлення зношених деталей цим методом з метою вдосконалення існуючої технології, розробка режимів відновлення конкретної деталі типу валу (валів турбокомпресора двигунів сільськогосподарської техніки) і впровадження у виробництво високопродуктивного технологічного процесу відновлення деталей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз стану зношених робочих поверхонь деталей, що надходять у ремонт;

- визначення можливих способів їх відновлення та дослідження можливості застосування електроіскрового нарощування для відновлення та зміцнення зношених поверхонь валів турбокомпресора;

- підібрати обладнання для електроіскрового нарощування зношених поверхонь;
- дослідити параметри режиму нарощування і розробити оптимальні режими процесу;
- визначити коефіцієнт суцільності покриття;
- обґрунтувати підвищення продуктивності процесу електроіскрового нарощування;
- вивчити фізико-механічні властивості матеріалу після електроіскрової обробки шляхом експериментальних металографічних досліджень;
- дослідити залежність зносостійкості зміцнених поверхонь від способу їх відновлення;
- обґрунтувати економічну ефективність способу;
- узагальнити результати проведених досліджень.

Об'єкт дослідження – зношені поверхні валів роторів турбокомпресорів двигунів сільськогосподарської техніки двигунів, а також методи і способи їх відновлення.

Предмет дослідження – дефекти та зноси валів турбокомпресорів, що відновлюються зміцнюючими технологіями відновлення

Методи дослідження: аналіз дефектів та зносів валів та способів їх відновлення; математичної статистики; металографічний аналіз: мікроструктурний аналіз матеріалу; визначення твердості та мікротвердості; випробування поверхонь деталей на зносостійкість; порівняння та узагальнення результатів проведених досліджень (синтез).

Теоретична значущість - підтвердження можливості використання відновлення валів турбокомпресорів двигунів електроіскровим нарощуванням, а також використання результатів для відновлення інших деталей машин. Практична значущість - підтвердження можливості використання даного способу на ремонтних підприємствах з метою підвищення довговічності деталей.

Новизна одержаних результатів: підтверджено можливість практичного застосування способу електроіскрового нарощування валів турбокомпресорів і використання даного способу на ремонтних підприємствах.

Практичні значення одержаних результатів.

1. Визначено можливість застосування електроіскрового нарощування для відновлення та зміцнення зношених поверхонь валів
2. Підібрано і обгрунтовано технологічне обладнання для електроіскрового нарощування зношених поверхонь
3. По результатах досліджень параметрів режиму нарощування і розроблені оптимальні режими процесу
4. Обгрунтовано вибір матеріалу для нарощування і досліджені фізико-механічні властивості матеріалу після електроіскрової обробки
6. Використання запропонованих способу, технологічного обладнання і матеріалу дозволяє підвищити ресурс деталей відновлених електроіскровим способом, зменшити витрати на ремонт.

Результати були опубліковані:

1). Іванкова О. В., Гаращук О. В., Куценко В. І., Щербина В. В., Чижевський Д. В., Бабич Я. В., Тіхонов М. О. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. *Вісник ПДАА*. 2020. N 4. С. 283-292. doi: 10.31210/visnyk2020.04.36 <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk>

2). Щербина В., Бабич Я., Іванкова О. Дослідження питання відновлення зношених деталей електроіскровим нарощуванням. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2020. С. 81-82.

3). Щербина В., Бабич Я. Дослідження відновлення зношених поверхонь деталей електроіскровим методом. *Матеріали студентської наукової конференції Полтавської державної аграрної академії, 16-17 квітня 2020 р. Том II.* – Полтава: РВВ ПДАА, 2020. С. 238-240

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів і висновків загальним обсягом 69 сторінок машинописного тексту, 23 таблиці, 37 рисунків, 38 найменувань використаних джерел та 2 додатки.

2 МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення даного наукового дослідження необхідно провести як теоретичні так і експериментальні дослідження відновлення блоків циліндрів, котрі проводяться у наступній послідовності:

- 1) теоретичний аналіз дефектів валів турбокомпресорів двигунів внутрішнього згорання під час їх роботи
- 2) визначення характеру дефектів валів роторів з подальшим вибором способів відновлення
- 3) підбір технологічного обладнання для проведення електроіскрового відновлення та необхідних матеріалів
- 4) дослідження впливу матеріалу електрода на якість відновленої поверхні та параметрів режиму електроіскрового відновлення;
- 5) розробка режимів технологічного процесу відновлення валів та виконання електроіскрового наплавлення
- 6) проведення дослідження механічних властивостей відновлених поверхонь (мікротвердість, мікроструктура відновлених поверхонь, міцність зчеплення матеріалу покриття з основою)
- 7) визначення його роботоздатності та довговічності, шляхом стендових та експлуатаційних випробувань, техніко – економічна оцінка розроблених заходів відновлення.

2.1 Матеріал досліджень

Проведення конкретного наукового дослідження вимагає застосування методів досліджень, які могли б представити всесторонні характеристики, які описують предмет дослідження. Методи дослідження вибираються в залежності від поставлених задач, а також інформаційного забезпечення досліджень по визначенню достовірних критеріїв оцінки показників відновлених поверхонь деталей. На основі аналізу умов експлуатації валів турбіни турбокомпресорів та у відповідності до вимог якості запропоновані конкретні методи випробувань відновлених поверхонь із використанням електроіскрового наплавлення.

Послідовність проведення досліджень

1. З метою визначення вибору способу відновлення валів роторів турбокомпресорів провести аналіз літературних джерел
2. Обґрунтування оптимального способу відновлення валів
3. Вивчення характеру зносів поверхонь валів, визначення можливості відновлення обраним способом.
4. Вибір технологічного обладнання для проведення електроіскрового нарощування зношених місць, матеріалу для відновлення.
5. Підбір та розрахунок основних параметрів режиму електроіскрового нарощування при відновленні зношених місць.
6. Виконання електроіскрового нарощування зношених місць.
7. Дослідження механічних властивостей відновлених поверхонь – мікротвердості, міцності зчеплення матеріалу покриття з основою, мікроструктури відновлених поверхонь.
8. Вивчення роботоздатності та довговічності відновлених валів шляхом стендових і експлуатаційних випробувань.
9. Розробка рекомендацій по впровадженню технології відновлення валів турбокомпресорів разом з техніко-економічною її оцінкою.

Для вивчення характеристик якості зміцненої поверхні, фізико-механічних властивостей, мікроструктури матеріалу, аналізу геометрії поверхні використовувались стандартні методики [29,30,31]. Результати експериментальних досліджень оброблялись за допомогою методик, які враховують загальні закономірності положення теорії ймовірності та математичної статистики [28].

2.2 Методика визначення зносу валів турбокомпресорів

В ході виконання дипломної роботи було проведено вимірювання опорних шийок та шийок розподільної шестерні, биття опорних шийок, кулачків валу. Виконали розрахунок зносу по кожній зазначеній поверхні.

У відповідності до вимог ГОСТ 18509-88 зовнішній діаметр валів на спряженій довжині вимірювали в чотирьох площинах і чотирьох перерізах [29]

Вимірювання проводили за допомогою мікрометра МК 0 - 25 мм з точністю відліку 0,01 мм у двох взаємно перпендикулярних площинах. Величину згину валу ротора перевіряли по величині биття (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Перевірка величини биття валу ротора.

В залежності від величини зносу валів можемо зробити висновок про доцільність застосування для відновлення вибраного способу відновлення.

2.3 Методика проведення лабораторних досліджень

2.3.1 Зразки для лабораторних досліджень

Зразки для лабораторних досліджень повинні характеризувати властивості основного матеріалу і покриття на ділянках шийок валів роторів турбокомпресорів двигунів. Експерименти проводилися на зразках – моделях, виготовлених сталі 40Х [29] та на натуральних зношених деталях. Усі зразки для експериментів були виготовлені на одному і тому ж технологічному обладнанні з однаковими режимами, тобто, вирізку зразків з валу проводили тонким відрізним абразивним кругом з охолодженням.

На зразках і деталях робилися мітки для того, щоб здійснювати вимірювання в одних і тих же перерізах.

2.3.2 Експериментальне обладнання

Експерименти проводилися на експериментальній установці, основним технологічним вузлом ми обрали установку для електроіскрового нарощування БІГ - 4 у режимі енергії імпульсів 5 Дж. Режими роботи установки: ручний та механізований.



Рисунок 2.2 – Установка для електроіскрового відновлення БІГ-4

2.3.3 Методика дослідження мікроструктури та мікротвердості зразків

При проведенні експериментів по електроіскровому відновлюванню нам потрібно дати оцінку мікроструктури з метою описання механізму формування шару.

Виготовлення зразків для вивчення мікроструктури здійснювали з ділянок площею поверхні 10-20 мм², товщиною 10мм. Вони повинні включати нарощені площини, перехідну зону і основний метал.

Приготування шліфів виконували за методикам, широко висвітленим в літературі [29]. В якості реактиву для травлення поверхні зразків використали 4%-ний розчин соляної кислоти в етиловому спирті.

Мікротвердість H_m [30] визначали на твердомірі ПМТ-3 з навантаженням $P=50\text{г}$. Для кожного експерименту по результатах п'яти вимірювань підраховували середнє значення та середньоквадратичне відхилення $\pm(20...30)$ одиниць.

2.3.4 Методика проведення порівняльних випробувань на знос

Оцінка зносостійкості відновлених деталей проводилась у відповідності зі стандартом для відновлених деталей рухомих з'єднань, які зношуються у процесі експлуатації. Він встановлює загальні положення методів оцінки їх зносостійкості з допомогою зносу зразків відповідних матеріалів і покриттів на дослідних установках.

Метод випробувань відповідав групі А. Суть: визначення співвідношення інтенсивності зносу поверхні деталей, відновлених електроіскровим наросуванням і незміцнених. Випробування проводяться при ідентичних умовах [31]. Для вимірювання зносу користувалися аналітичними вагами ВЛА-200М, похибка – не більше 0,002г.

Лабораторні дослідження зносостійкості виконували на машині тертя МІ-1М по схемі «колодка»-«ролик». Ролик приводився в обертальний рух з частотою 500 хв.⁻¹, після чого давали контакт з колодкою під навантаженням 0,56 кН. Зовнішній вигляд установки на рис. 2.5а. Для вимірювання зносу користувалися аналітичними вагами ВЛА-200М, похибка – не більше 0,002г (рис. 2.5 б).

У відповідності зі стандартом зразки притиралися, потім промивалися, просушувалися і важилися. Підраховували кількість обертів зразка, тобто шлях тертя. Оцінка величини зносу полягає у визначенні витрати маси роликів і колодок в процесі випробування. Втрата маси визначалася зважуванням до та після випробувань з точністю 0,1 мг на аналітичних вагах ВЛА-200М.



а



б

а – зовнішній вигляд машини тертя МІ-1М; б – аналітичні ваги ВЛА-200М
Рисунок 2.5– Обладнання для порівняльних випробувань на знос

2.3.6 Математична обробка експериментальних даних

Результати експериментальних даних мікротвердості нових та зміцнених деталей, оброблялись згідно методики [35]. За результатами даного вимірювання були визначені теоретичні значення мікротвердості по довжині робочої поверхні. Для цього було проведене вирівнювання емпіричного розподілу по прийнятому теоретичному закону, а також порівняння емпіричних і теоретичних функцій по критерію узгодження Пірсона.

2.3.7 Методика експлуатаційних випробувань

Дослідження зносостійкості відновлених поверхонь проводили на партії валів роторів турбокомпресорів, усі шийки яких були відновлені у 6 валів - електроіскровим методом нарощування. Такий метод випробувань, за даними роботи [31], дозволяє одержати достовірні і порівнянні результати. Двигуни з розподільними валами маркували й експлуатували в умовах ТОВ «УкрЛатАгро» Миргородського району Полтавської області. Таким чином, випробувано 6 валів роторів турбокомпресорів.

Висновки

1. Розроблена методика досліджень, яка включає проведення експериментів за оцінкою структури, властивостей покриттів з урахуванням матеріалу і параметрів процесу електроіскрової обробки. Запропонована послідовність проведення досліджень для вирішення поставлених завдань і досягнення мети.

2. На основі аналізу умов експлуатації даних деталей, вимог до їх якості, а також вивчення видів випробувань, запропоновані методи оцінки якості нарощування шару металу, запропоновані методи оцінки покриття на міцність зчеплення.

3. Дослідження структури і властивостей покриття робили безпосередньо на матеріалі валів роторів турбокомпресорів, виготовлених зі сталі 40Х.

4. Оцінку якості відновлення проводили з використанням сучасних методів досліджень: металографічного, оцінки мікротвердості.

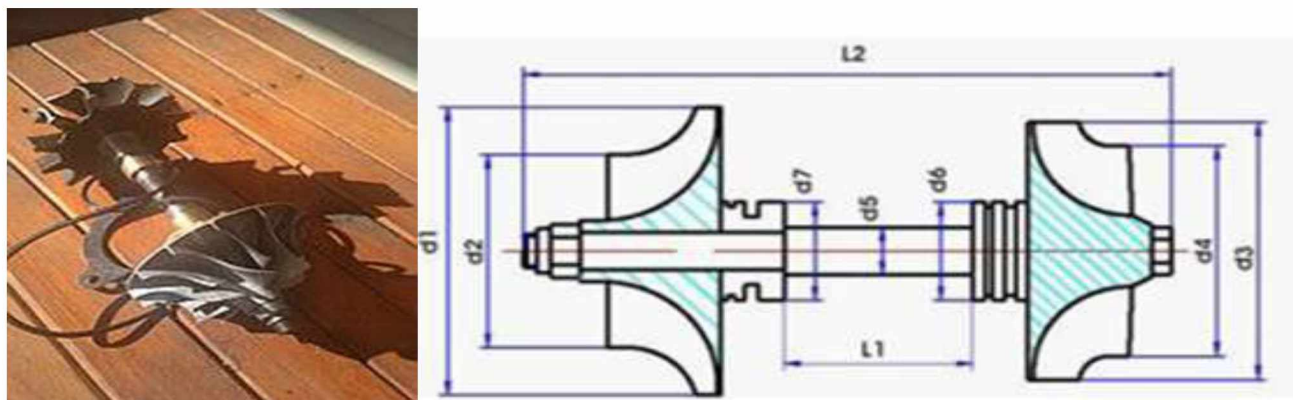
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Визначення величини зносу робочих поверхонь валів роторів турбокомпресорів

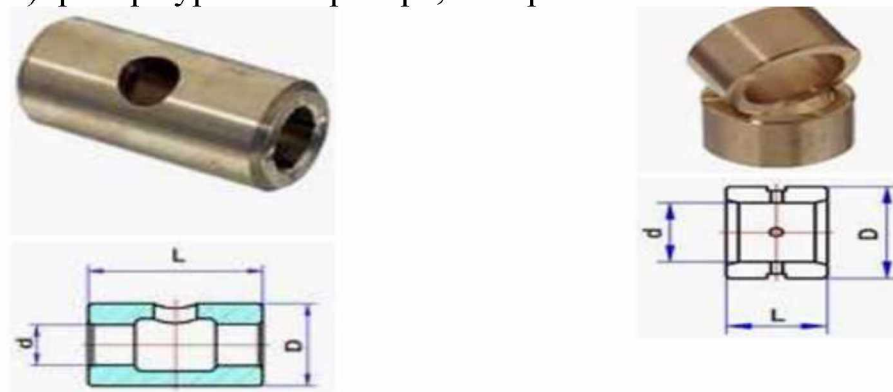
Однією із «слабких ланок» турбокомпресора є спряження «вал ротора – підшипник». Довговічність цього спряження визначає ресурс всього турбокомпресора.

Величину зносу робочих поверхонь валів роторів турбокомпресорів: опорних шийок визначали прямими замірами розмірів і порівнянням їх з номінальними.

На рисунку 3.1 представлені ескізи деталей турбокомпресора [14, 24, 26].



а). ротор турбокомпресора, матеріал сталь 40Х



б). підшипник валу ротора турбокомпресора (втулка), матеріал бронза О10С10
в). підшипник радіальний (упорний), матеріал бронза О10С10

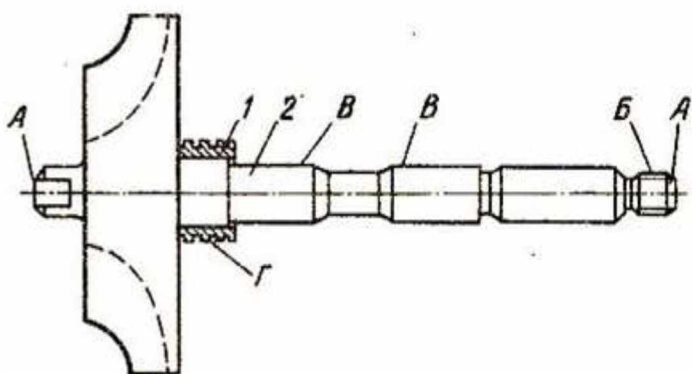
Рисунок 3.1 – Ескізи ротора турбокомпресора, підшипника валу ротора турбокомпресора, підшипника радіального

Для визначення величини зносів валу ротора і підшипника в sprzęженні, законів розподілу розмірів їх поверхонь були виконані заміри деталей турбокомпресорів, які надійшли до ремонту.

Вал ротора турбокомпресора складається з колеса турбіни та, привареного до нього саме валу. Слід відмітити наявність на валу робочих поверхонь, sprzęжених з підшипником ковзання.

Вал ротора виготовлений зі сталі 40Х, підшипник ковзання - втулка валу виготовлена з бронзи БР.01-С-01. Розміри за кресленням валу ротора – $18_{-0,08}^{-0,07}$ мм, підшипника – $18^{+0,019}$ мм, зазор за кресленням – 0,027-0,07 мм, допустимий зазор – 0,14 мм. [14, 24, 26].

На рисунку 3.1 приведений вал ротора з місцями дефектів



1 – втулка; 2 – вал; місця зносу або пошкодження: А – центрових фасок, Б – різьби; В – шийок під підшипник; Г – канавок під ущільнюючі кільця

Рисунок 3.2 – Вал ротора з вказанням дефектів

У процесі експлуатації турбокомпресора через неякісну мастильну оливу, або забруднення її, чи утворення накипу та нагару (закоксування), порушується режим мащення sprzęжень валу ротора з підшипниками. Виникає замість рідинного тертя граничне тертя. При високій частоті обертання ротора це приводить до втрати стійкості валу ротора, зниження рівня демпферування в підшипниках. В результаті зростає амплітуда коливань, у тому числі за рахунок наявності незбалансованих мас ротора. Це призводить до контакту поверхонь

тертя валу ротора і підшипника. Якщо у мастилі присутні абразивні частинки – виникає абразивний знос. При збільшених зазорах у підшипниковому вузлі значно погіршується герметичність ущільнень, навіть зібраних у повній відповідності до технічних вимог [5].

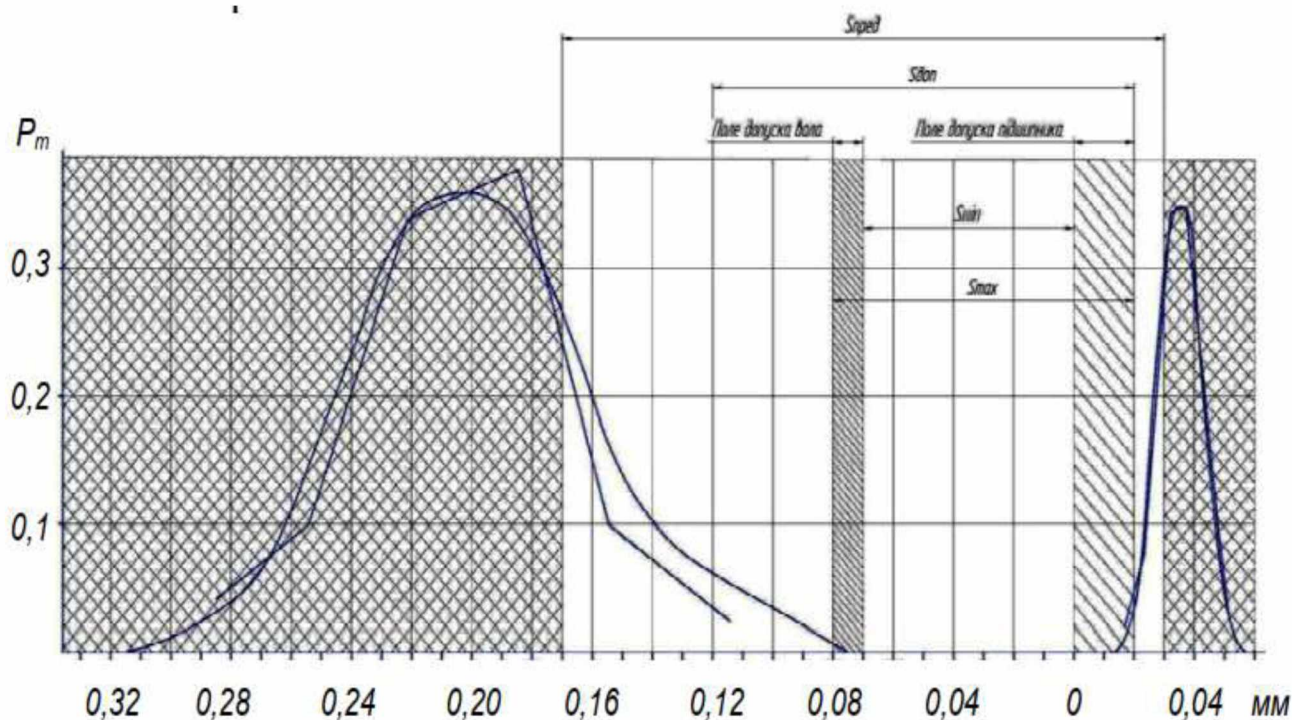
Отже, основним видом зношування деталей підшипникового турбокомпресора є абразивний та гідроабразивний знос. Незважаючи на наявність у двигунів фільтра очищення мастила, спостерігається попадання абразивного пилю в систему мащення [31,32,49,41]. Забруднення оливи веде до пошкодження пар тертя турбокомпресора продуктами коксування оливи або абразивними частинками пилю, продуктів корозії, тощо.

Для зношених опорних поверхонь валів ротора під підшипники були визначені основні статистичні характеристики: середнє значення розмірів – 17,82 мм, середнє квадратичне відхилення – 0,036мм, коефіцієнт варіації – 0,322. Статистична перевірка гіпотези про закон розподілу Гауса (нормальний) при допомозі критерію узгодження Пірсона склала $\chi^2 = 1,21$.

Аналогічно була проведена обробка інформації по внутрішніх діаметрах підшипників (втулок). середнє значення – 18,032 мм, середнє квадратичне відхилення – 0,005 мм, коефіцієнт варіації – 0,33, розподіл величини діаметрів - за нормальним законом, співпадання за критерієм Пірсона - $\chi^2 = 1,33$.

Розподіл діаметрів деталей з'єднання «вал ротора – підшипник» показаний на рис. 3.2.

Проводячи аналіз розподіл розмірів деталей спряження – вала ротора і підшипника турбокомпресору ТКР 11Н-1 (рис.3.2) робимо висновок про те, що діаметри 12% валів при дефектації є придатними для подальшої експлуатації; 35% деталей, діаметри яких не зменшились нижче 17,8 мм, можуть бути відновлені на ремонтний розмір. Всі інші вали, якщо колесо турбіни залишається у задовільному стані, можна відновлювати на номінальний розмір.



$S_{грн}$ - гранична величина зазору, мм; $S_{доп.}$ - допустима величина зазору, мм;
 S_{min} ; S_{max} - мінімальне і максимальне значення поля допуску спряження, мм

Рисунок 3.2 – Експериментальні та теоретичні криві розподілу діаметрів деталей спряженні «вал ротора – підшипник» турбокомпресора ТКР 11Н - 1

Отже, на основі результатів мікрометражу деталей були визначені основні статистичні характеристики, побудовані експериментальні і теоретичні криві розподілу діаметрів деталей спряження. Аналіз зазорів у з'єднанні показав, що частину валів можна відновити механічною обробкою на ремонтний розмір із заміною втулки. Іншу частину деталей можна відновити, зокрема електроіскровим методом [5].

3.2 Обґрунтування вибору технологічного обладнання

Експерименти проводилися на експериментальній установці, основним технологічним вузлом ми обрали установку для електроіскрового нарощування БІГ - 4. Параметри технічної характеристики установок БІГ для електроіскрового відновлення приведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика установок БГ для електроіскрового відновлення

	БГ-1М	БГ-4	БГ-5
Комплектність	генератор, вібратор		
Напруга живлення (+10%) при частоті 50 Гц	220В		
Потужність, кВт	0,25	0,5	0,5
Кількість електричних режимів	35	35	70
Максимальна енергія імпульсів, Дж	3,15	5	10
Частота імпульсів, Гц	10-3200	12-3000	5-1600
Частота вібрації електроду, Гц			
Товщина покриття (мм) при контактній суцільності 15-30% Твердим сплавом Т15К6 /сталлю ШХ15/ бронзою БрКМц 3-1	0,01-0,2/0,01-1,3/ 0,01-1.4	0,01-0,4/0,01-2,2/ 0,03-2.3	0,01-0,5/0,01-87/ 0,05-2.7
Висота мікронерівностей Ra(мкм) твердим сплавом Т15К6	2,5-20	2.5-50	2,0-60
Максимальна продуктивність нанесення покриття без пропусків, см ² /хв.	6	10	12
Габаритні розміри генератора, см	130х300х210	170х430х250	160х320х360
Маса генератора, кг	7	14	14
Режим роботи	Ручний та механізований. Можуть працювати у механічному режимі при додатковому комплектуванні механічними пристосуваннями		

Основні технологічні параметри електроіскрової обробки: кількість дотиків електродами поверхні відновлювальної деталі; висота мікронерівностей; параметри одиначної лунки (радіус, крок нерівностей, радіус округлення западин, що формуються); коефіцієнт суцільності покриття, а також режими процесу: частоту обертання деталі, подовжня подача, продуктивність процесу.

3.3 Визначення суцільності покриття при електроіскровій обробці

Розрахунок параметрів режимів обробки включає вибір частоти обертання деталі, визначення подовжньої подачі, продуктивності процесу, **кількості** використовуваних електродів [14, 24, 26].

Визначення коефіцієнта суцільності покриття

При проведенні експериментів було відмічено, що тип електроду та його матеріал і конфігурація не роблять істотного впливу на діаметр одиначної лунки [15].

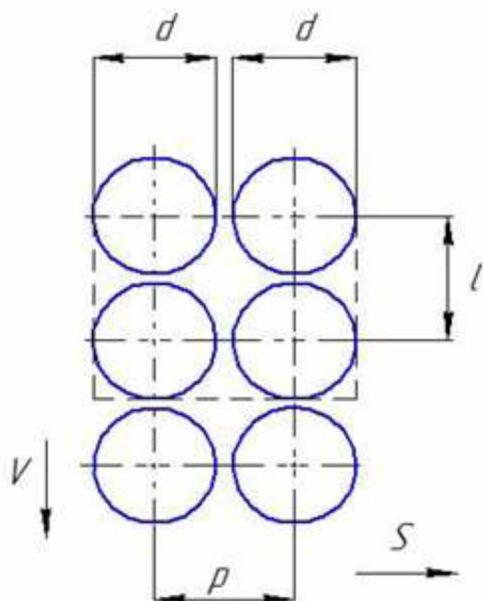
У свою чергу діаметр одиничної лунки в значній мірі залежить від електричних параметрів обробки, зокрема від величини струму іскрового розряду (табл. 3.1).

Таблиця 3.2 - Вплив струму іскрового розряду на діаметр одиничної лунки

Струм іскрового розряду, А	15	50	80
Діаметр одиничної лунки, - d , мм	0,3	1,0	1,4

При великій площі поперечного перерізу електрода в точці дотику з деталлю через те, що електричний розряд проходить по лінії найменшого опору, буде відбуватися міграція лунок. А це приводить до значної несучільності обробки. Отже, при обробці циліндричних деталей було б доцільно виконувати нарощування електродом, ширина якого незначно перевищує діаметр одиничної лунки.

Оскільки метод електроіскрової обробки полягає у чергуванні короткочасних електричних імпульсів, то після проходження електродом на поверхні буде формуватися рельєф, що створюється одиничними лунками (рис. 3.3).



d - діаметр одиничної лунки; S - напрям подачі супорта; p - крок подачі електроду-інструменту на один оберт деталі; l - відстань між сусідніми лунками (крок іскрової дії), V - напрям обертання деталі.

Рисунок 3.3 - Розрахункова схема для визначення покриття при електроіскровій обробці

Швидкість обертання деталі, n і повздовжня подача інструменту – електроду, S

істотно впливають на якість формованого шару і на продуктивність процесу. Мікрорельєф, що утворюється на поверхні деталі характеризується суцільністю обробки.

Якщо задатися умовами:

- нанесення поверхневого шару здійснюється електродом, товщина якого близька до діаметру одиничної лунки – d ;
- повздовжня подача p дорівнює діаметру d лунки,
- лінійне переміщення електрода - l (відстань між центрами сусідніх лунок) за одиницю часу не перевищує «шляху лунки» в цей проміжок часу, то щільність покриття оброблюваної деталі можна визначити з виразу [15]:

$$K_c = \frac{S_{обр}}{S_{заг}}, \quad (3.1)$$

де K_c - коефіцієнт суцільності покриття;

$S_{обр}$ - площа поверхні деталі, яка покрита одиничними лунками, мм²;

$S_{заг}$ - площа деталі, яку необхідно обробити, мм².

Коефіцієнт суцільності можна представити в наступному вигляді:

$$K_c = \frac{K_1 + K_2}{2}, \quad (3.2)$$

де K_1 - коефіцієнт суцільності покриття по колу циліндричного тіла;

K_2 - коефіцієнт суцільності покриття по твірній циліндра.

Враховуючи геометричні параметри циліндричної деталі, маємо вираз:

$$K_1 = \frac{\pi d}{4l}, \quad (3.3)$$

де d - діаметр одиничної лунки, мм;

l - крок іскрової дії, мм,

$$K_2 = \frac{\pi d^2}{4p}, \quad (3.4)$$

де p - крок подачі електроду на один оберт деталі, мм.

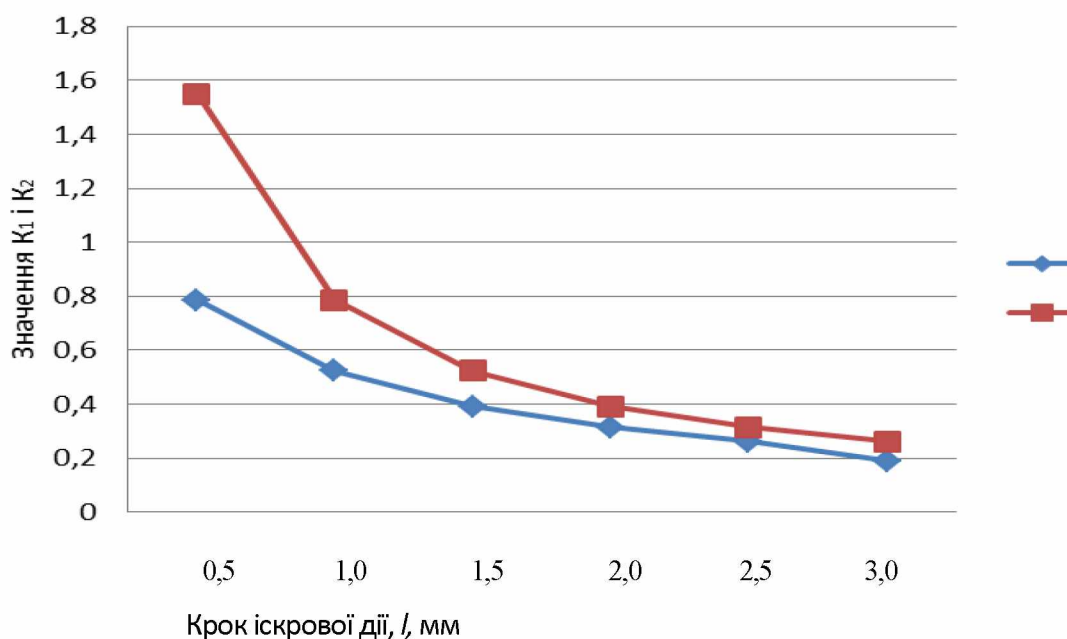


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнтів суцільності покриття по колу циліндричного тіла (K_1) і по твірній циліндра (K_2) від кроку іскрової дії, мм

Задаючись значеннями коефіцієнта суцільності та діаметра одиничної лунки d з виразів 3.3 і 3.4 можна визначити крок подачі на один оберт деталі та крок іскрової дії.

При співвідношенні $d = l = p$, коефіцієнт суцільності покриття складає $= 0,785$.

Провівши підрахунки, отримали діаграму зміни суцільності покриття (рис. 3.3)

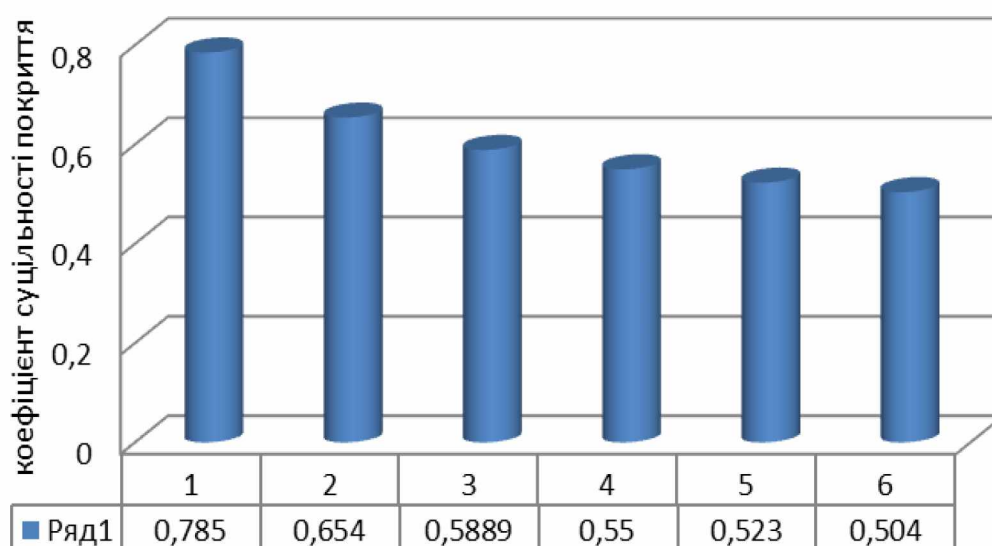


Рисунок 3.5 – Залежність суцільності покриття від кроку подачі електрода

З діаграми видно, що із збільшенням кроку подачі електрода коефіцієнт суцільності покриття знижується. Оптимальним значенням беремо крок подачі електрода $p = 1$ мм.

3.4 Розрахунок параметрів режиму нанесення покриття

Лінійну швидкість переміщення точки контакту електроду з деталлю визначимо за формулою [14]:

$$V = \frac{1}{K_1} d \cdot f, \text{ мм/с}, \quad (3.5)$$

де f - частота проходження імпульсів.

По результатах нескладних розрахунків представляємо побудовану діаграму залежності лінійної швидкості переміщення електроду при K_1

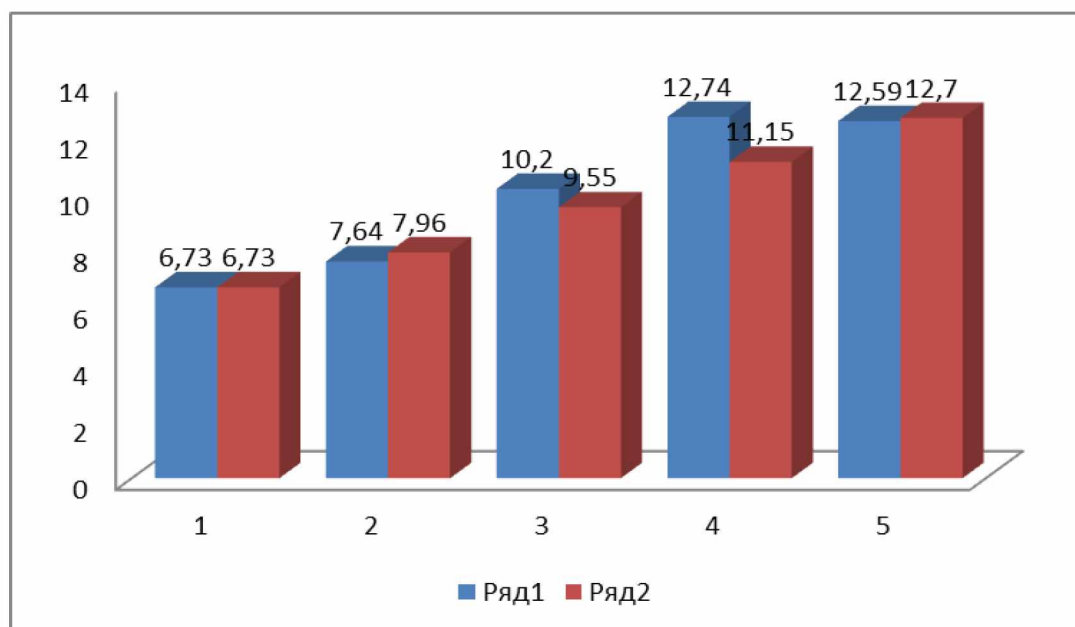


Рисунок 3.6 – Залежність лінійної швидкості електроду від частоти вібрації електроду (ряд 1) та діаметру електроду (ряд 2)

З рисунку бачимо, що прослідковується тенденція підвищення лінійної швидкості при збільшенні частоти вібрації електроду та діаметру електроду.

При $d=1\text{мм}$ лінійна швидкість електроду відповідатиме $v=6370d/\text{хв.}$, або $V=6,37\text{ м/год.}$

Згідно даним [15] швидкість наплавлення існуючих найбільш поширених методів наплавлення, зокрема, наплавлення в середовищі CO_2 , вібродугового наплавлення, знаходиться в межах 20-40м/год.

Підставляючи замість швидкості (V) співвідношення (3.5) можна (залежно

від діаметру (D) оброблюваної деталі і задаючись величинами (K_1 , d і f), визначити частоту n_d обертання:

$$n_d = \frac{60 \cdot D \cdot f}{\pi d \cdot K_c}, \text{ хв.}^{-1}, \quad (3.6)$$

$$n_d = \frac{60 \cdot D \cdot f}{\pi d \cdot K_c} = \frac{60 \cdot 0,18 \cdot 50}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,785} = 21,91 \text{ хв.}^{-1}$$

де D - діаметр відновлюваної деталі, мм.

Повздовжня подача (S) на один оберт оброблюваної деталі визначається з виразу:

$$S = \frac{d}{k_2}, \text{ мм/об.} \quad (3.7)$$

Виконавши підстановку значень d, K_1 , d і f, ми отримали: $n_d = 21,91 \text{ хв.}^{-1}$, $s = 1,29 \text{ мм/об.}$ Змінюючи значення діаметра деталі D і керуючись даними досліджень [14,15], приймаємо рекомендовані параметри режиму: обертання n_d деталей зі швидкістю $150\text{-}250 \text{ хв.}^{-1}$; переміщенням супорту $S=1,0 \text{ мм/об.}$; частота вібрації електроду - 50 Гц , кількість проходів n електрода - від 1 до 8.

Коефіцієнт суцільності (як по колу, так і по твірній) покриття визначаємо за формулою:

$$K_c = 1 - \left(1 - \frac{K_p}{100} \right)^n, \quad (3.8)$$

де $K_p = 78\%$ - розрахункова суцільність обробки за один прохід [18];

n – число проходів електродом.

Згідно виразу (3.10) після двох проходів суцільність покриття складає:

$$K_c = 1 - \left(1 - \frac{78}{100} \right)^2 = 0,95, \text{ тобто } 95\%;$$

Суцільність покриття після трьох проходів:

$$K_c = 1 - \left(1 - \frac{78}{100} \right)^3 = 0,99, \text{ тобто } 99\%$$

Після чотирьох проходів електродом:

$$K_c = 1 - \left(1 - \frac{78}{100}\right)^4 = 0,9997 \approx 100\%$$

Ми проаналізували залежність продуктивності від коефіцієнту суцільності покриття K_c та від частоти вібрації електроду f за формулою:

$$N = \frac{f \cdot d^2}{K_c} \quad (3.9)$$

По результатах побудована залежність, показана на графіках (рис. 3.7)

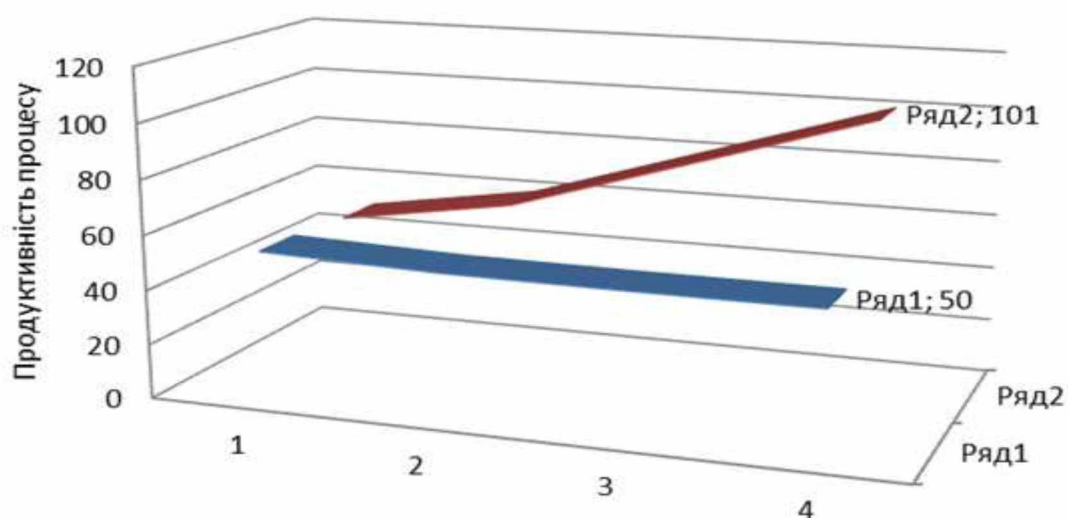


Рисунок 3.7 - Залежність продуктивності технологічного процесу від параметрів режиму: коефіцієнту суцільності покриття (ряд 1) та частоти вібрації електроду (ряд 2)

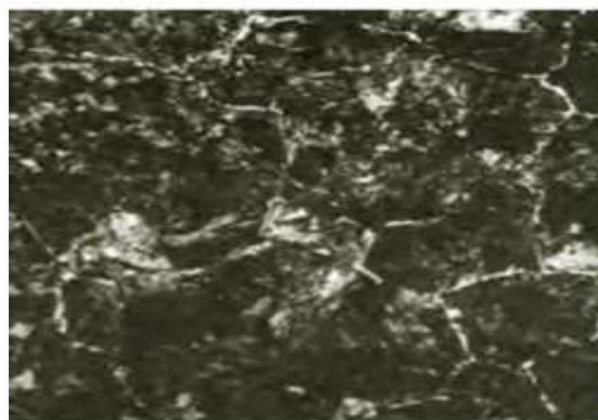
Порівнюючи коефіцієнт суцільності нанесеного покриття на поверхню вала за три проходи електроду із коефіцієнтом за чотири проходи, бачимо, що рівень суцільності майже не змінюється. Що стосується продуктивності процесу, то вона знижується при 4 проходах на 12%. Тому, доцільно рекомендувати наносити покриття за три проходи. Потрібно забезпечити параметри режиму: коротке замикання силою струму $I_{кз}=8...10\text{A}$, $U_{xx} - 12...16\text{ В}$ [15].

Отже, використання обраного технологічного обладнання для електроіскрового наросування і параметрів режиму, що запропоновані нами, забезпечують продуктивність процесу не менше 36 см/хв. , але, реально вона сягає всього $2,5 - 3,5\text{ см}^2/\text{хв.}$

3.5 Дослідження мікроструктури та мікротвердості покриття

Мікроструктуру поверхневого шару оброблених зразків вивчали на мікрошліфах. Поверхню їх протравили 4% розчином HNO_3 в етиловому спирті [28].

На рис.3.8 приведено фото зміцненого шару зразка електроіскровим методом ($\times 100$) та мікроструктура поверхневого шару зразка, зміцненого електроіскровим методом (3 проходи електроду) ($\times 400$)



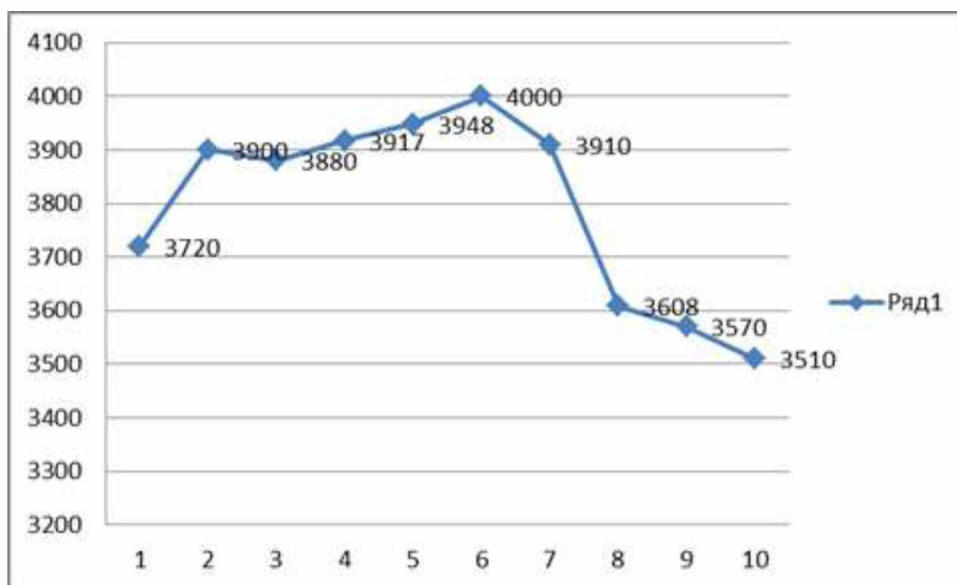
а). - фото зміцненого шару зразка електроіскровим методом ($\times 100$)

б). мікроструктура поверхневого шару зразка, зміцненого електроіскровим методом (3 проходи електроду) ($\times 300$)

Рисунок 3.8 – Мікроструктура обробленого поверхневого шару

Нарощений шар являє собою не витравлену структуру, в якій проглядаються тонкі білі зони у вигляді ліній, що є карбідною фазою. Ці лінії утворюють структуру, яка складається з кількох невеликих шарів.

Значення мікротвердості H_m зразків визначили на приладі ПМТ-3 (навантаження $P=100\text{г}$). Підраховували середнє з п'яти вимірювань; середньоквадратичне відхилення складало $\pm(20\ldots 30)$ од. На рисунку 3.8 приведені криві зміни твердості по відстані від нарощеного шару.



1-4 – зона нарощування; 4-6 – зона термічного впливу (зона підвищеної твердості); 7-8 – зона зниження твердості; 8-10 – основний метал.

Рисунок 3.8 – Зміна мікротвердості по відстані від поверхні

3.6 Дослідження зносостійкості зразків

Зразки для випробувань: сталь 40X прямокутної форми, 20x40x5 мм; бронза БрОС10-10 - диски з діаметром 120 мм. Випробування проводилися на машині тертя МІ-1М по схемі «колодка»-«ролик», що моделює з'єднання «вал турбокомпресора-втулка». Ролик приводився в обертальний рух з частотою 500 хв.⁻¹, після чого давали контакт з колодкою під навантаженням 0,56 кН. Для вимірювання зносу користувалися аналітичними вагами ВЛА-200М, похибка – не більше 0,002г. Середню зносостійкість оцінювали по втраті ваги. Ми отримали суттєве зниження зміни маси (рис. 3.9)

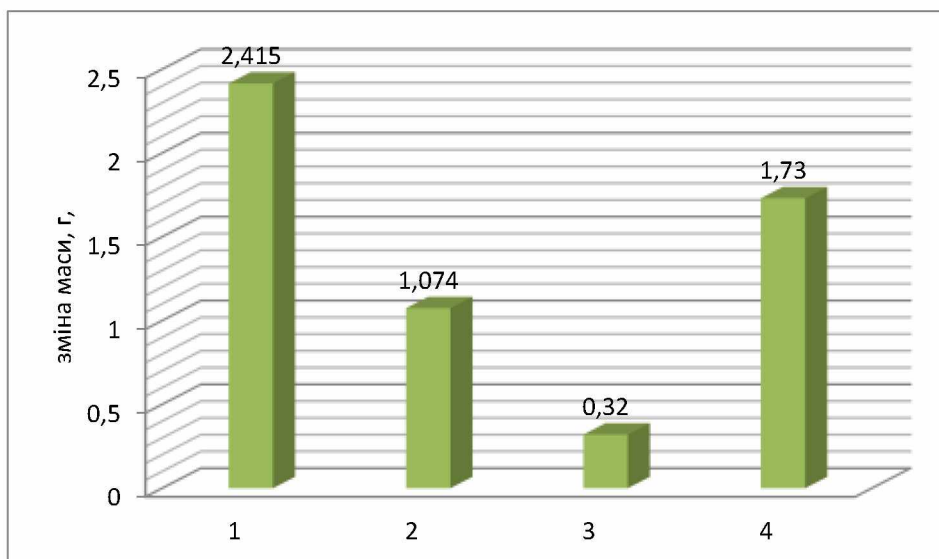


Рисунок 3 9 - Гістограма інтенсивності зносу нових та оброблених методом електроіскрової обробки пар тертя: 1 – сталь 40Х – БрОС10-10 (без обробки); 2 – сталь 40Х + сталь 65 – БрОС10-10; 3 – сталь 40Х + сталь 65 – БрОС10-10 + Ni + БрОС10-10; 4 – сталь 40Х + сталь 65 – БрОС10-10 + Ni + БрАЖ9-4

Отже, для підвищення зносостійкості спряження вал ротора турбокомпресора – підшипник доцільно на поверхню валу (сталь 40Х) нанести методом нанесення шар сталі 65, а підшипник із бронзи БрОС10-10 потребує спочатку нанесення шару нікелю Ni з наступним нанесенням бронзи БрОС10-10.

Дослідження зносостійкості відновлених поверхонь проводили на партії валів роторів турбокомпресорів: 6 валів – без покриття; 6 валів – нарощених електроіскровим методом. Такий метод випробувань, за даними роботи [3], дозволяє одержати достовірні і порівнянні результати.



Рисунок 3.10 – Встановлення турбокомпресора на трактор

Таблиця 3.3 - Результати виробничих випробувань роторів турбокомпресора двигуна СМД-60

Номер ротора, і	Наробіток на відказ ротора, місяців	Наробіток на відновленням валом, місяців	Коефіцієнт підвищення строку експлуатації
1	12	21	1,75
2	11	20	1,82
3	9	25	2,78
4	8, 5	19	2, 24
5	12	21	1, 75
6	16, 5	32	1, 93

Отже, виробничими випробуваннями встановлено, що коефіцієнт підвищення ресурсу при відновленні валів методом електроіскрової обробки зростає в 1,75-2,78 рази (в середньому – 2,05рази).

На основі проведених досліджень і, керуючись матеріалами літературного аналізу [.....], розроблений технологічний процес відновлення валів турбокомпресора. Технологічний процес включає в себе усунення методами електроіскрового нарощування основних дефектів валу: зносу робочої поверхні валу в спряженні вал – підшипник ковзання; подряпини, задири, риски.

Запропонований технологічний процес відновлення валу ротора турбокомпресора електроіскровою обробкою представлений у вигляді таблиці 3.4

Таблиця 3.4 - Технологічний процес відновлення валу ротора турбокомпресора

№ п/п	Назва операції	Обладнання	Прилади та інструменти
005	Мийна 1. Миття валу ротора ТКР в розчині мийного засобу «Helit» (25 г/л) при температурі 80...90° С; очищення їх від нагару та смолянистих відкладень	Мийна ванна	Ємкість з нержавіючої сталі, мийний засіб «Helit»
010	Дефектувальна 1. Перевірити вал ротора на прогин (при значенні биття, що перевищує допустиме значення, деталь повинна замінюватися)	-	Прилад перевірки деталей обертання на биття в центрахПВ-250; калібр (1,75-1,89мм); мікрометр 0-25мм з

	2. Визначити знос опорних поверхонь валу ротора під підшипник ковзання		точністю 0,002мм МР020020
015	Електроіскрова 1. Закріпити у трьохкулачковому патроні токарно-гвинторізного верстата 1К62 зворотний центр 2. Закріпити вал ротора ТКР в центрах верстата 3. Обробити поверхні вала ротора турбокомпресора під підшипник ковзання. Електрод – 1мм, режим установки – 2; $n_d = 22 \text{ хв}^{-1}$; $S = 1,29 \text{ мм/об}$;	Токарно-гвинторізний верстат 1К62, установка для електроіскрового нарощування БІГ -4	Патрон трьохкулачковий; центр обертовий ; електрод зі сталі 65 для електроіскрового покриття
020	Поверхнево-пластична Обкатати відновлені поверхні вала ротора під підшипник ковзання $n_d = 30 \text{ хв}^{-1}$; $S = 0,11 \text{ мм/об}$; [.....]	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	Патрон трьохкулачковий; центр обертовий, фасонний різець
025	Притирочна 1. Притерти опорні поверхні вала ротора під підшипник ковзання до номінального розміру	Токарно-гвинторізний верстат 1К62	Патрон трьох кулачковий; центр обертовий; чавунний притир розрізний; паста алмазна АМ7/5 ДСТУ 9206-90; мікрометр 0-25мм з точністю 0,002мм МР020020 ДСТУ4381-97
030	Балансувальна 1. Виконати балансування вала ротора турбокомпресора з турбінним колесом в двох площинах до досягнення величини, даної в умовах на капітальний ремонт	Верстат балансувальний БАІ-03-02Т, машина шліфувальна	Круг шліфувальний
035	Очистка Промити вал у розчині мийного засобу «Helit» (25 г/л) при температурі 80...90° С	Мийна ванна	-
04	Контрольна 1. Виконати технічний контроль відновленого валу на відповідність розмірам	-	Мікрометр 0-25мм з точністю 0,002мм МР020020 ДСТУ4381-97

Висновки

1. Визначений коефіцієнт суцільності покриття при електроіскровій обробці, який при співвідношенні $d=1=p$, дорівнює 0,785.
2. Встановлено, що при відновленні деталей число проходів електроду не повинно перевищувати трьох.
2. Отримані розрахункові значення параметрів режиму: лінійну швидкість переміщення точки контакту електроду з деталлю (при $d=1\text{ мм}$ $V = 3\text{ м / хв.}$), частоту p_d обертання та повздовжню подачу (S) на один оберт деталі.
3. Обґрунтовано підвищення продуктивності процесу електроіскрового нарощування, запропонувавши конструкцію електродотримача для дискового електроду, шириною 1-2 мм.
4. Проведений аналіз мікроструктури та мікротвердості, що дало змогу зробити висновок: при нарощуванні електродами із сплаву 150X30 твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу.
5. Визначено, що підвищення зносостійкості відновлених деталей (до повного виходу їх з експлуатації) в 1,5-2,0 рази.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза це проведення оцінки впливання об'єкта розробки на оточуюче природне середовище. Головна мета проведення експертизи - попередження шкідливих наслідків виробничої діяльності на здоров'я людей та стан природного середовища. [35].

Згідно Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку» № 2354 – VIII від 20.03.2018 р. здійснення стратегічної екологічної оцінки виключає проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи. Виходячи з цього, виконуємо стратегічну екологічну оцінку технології відновлення валу ротора турбокомпресора методом електроіскрової обробки.

Відповідно до теми дипломної роботи «Дослідження технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки з використанням процесів електроіскрової обробки» ми аналізуємо основні екологічні проблеми процесу відновлення валу ротора електроіскровим нарощуванням поверхонь.

В процесі робіт з електроіскрового нарощування поверхонь відбуваються такі ефекти, як випромінювання електричних розрядів, виділення шкідливих газів та аерозолів, інтенсивні іскри і бризки розплавленого металу.

Ультрафіолетові та інфрачервоні промені короточасних зварювальних дугових розрядів, які є наслідком високотемпературного горіння при недотриманні заходів безпеки шкідливо впливають на зір працівника. Видиме випромінювання має засліплюючу дію. Зокрема, ультрафіолетове випромінювання може призвести до виникнення гострого захворювання очей – електрофтальмії [35]. Тривала дія інфрачервоного випромінювання здатна викликати катаракту.

Перешкодою для шкідливих променів є спеціальні світлофільтри зварювальних масок. Тому необхідно ретельно підбирати світлофільтри відповідно до сили струму. Допустимі рівні оптичного опромінення працівника повинні відповідати рекомендаціям у відповідних стандартах.

Світлове випромінювання також бере участь в хімічних процесах.

В результаті процесу електроіскрового нарощування відбуваються викиди деяких шкідливих газів: окис вуглецю, двоокис азоту, окис заліза, з'єднання марганцю, пил, який містить кремній [36].

Необхідно також відмітити шум, виникнення електромагнітних полів, появу аероіонів. Усе це в процесі відновлення викликає негативну дію на організм людини, що виконує ці роботи, що може призвести до виникнення травм і професійних захворювань.

Огляд, чистку, ремонт обладнання, заміну елементів можна здійснювати після відключення обладнання від мережі. Робітники забезпечуються засобами захисту від несприятливих умов.

Зношені поверхні валу відновлюються на ремонтний або номінальний розмір, можна також використовувати газопорошкове наплавлення. Кожний із альтернативних способів відновлення не дає мінімізації впливу на екологічний стан середовища, порівняно з електроіскровим нарощуванням.

Заходи, що передбачається вжити для зменшення негативних наслідків в результаті впровадження технології електроіскрової обробки:

- заходи по зменшенню викидів в атмосферу, зокрема, очистка викидів з притоково-витяжної вентиляції ділянки по електроіскровій обробці;
- заходи по збору відходів, зокрема стружка сортується і складається в окремі ємкості.

Профілактичні заходи повинні передбачати автоматизацію процесів з використанням електроіскрового нарощування, скорочення об'єму робіт всього ряду електроіскрової обробки в замкнутих просторах, облаштування робочих місць місцевою і загально обмінною вентиляцією.

Профілактичні заходи будуть не ефективні, якщо не передбачати застосування спеціального одягу, взуття, окулярів, щитків шоломів зі світлофільтрами, відділення робочих місць при допомозі щитів, ширм; виконання медичних оглядів працівників підприємства.

Заходи по поліпшенню екологічного захисту на дільниці з використанням електроіскрової обробки (нарощування) зношеного шару деталей:

- 1). Безперебійна вентиляція та контроль за складом повітря на дільниці.
- 2). Профілактичні заходи
- 3). Обгороджування місць роботи щитами або ширмами.
- 4). Проведення попередніх і періодичних медичних оглядів робітників.

4.2 Охорона праці

4.2.1 Актуальність проблеми охорони праці у виробничому середовищі

Проблеми охорони праці надзвичайно гостро постають на сучасному рівні розвитку виробничих технологій нашого суспільства.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи «Дослідження технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки з використанням процесів електроіскрової обробки» проводимо аналіз можливості впровадження розробок з точки зору забезпечення вимог з охорони праці. Процес відновлення валу турбокомпресора розроблено з використанням установки для електроіскрової обробки БІГ-4. Впровадження плануємо в цеху ТОВ «Авто-Мотрна Компанія.

До виконання робіт з електроіскрової обробки металів допускаються тільки фахово підготовлені працівники, не молодші 18 років, що пройшли інструктаж з вимог безпеки, оволоділи безпечними прийомами праці і мають посвідчення зварювальника з відповідними допусками.

Вони забезпечуються спецодягом. Працівник повинен мати брезентовий костюм, шолом-маску із світлофільтрами; спецвзуття; рукавиці; гумовий килим [32].

Роботи повинні виконуватися в спеціальних кабінах, які обладнані місцевою приточно-витяжною вентиляцією. Джерело електричного струму повинно бути надійно заземленим. Електричні кабелі не повинні мати пошкоджень ізоляції [33].

Забороняється проводити роботи на відкритому повітрі в дощову погоду. Роботи по електроіскровій обробці потрібно проводити на відстані від горючих матеріалів не менше 5 м.

Перед початком робіт по електроіскровій обробці потрібно перевірити дію вентиляції, стан електроізоляції пристрою БГ 4. Встановлення і вивільнення відновлюваних валів необхідно проводити при відключенні обладнання від електромережі. Одяг і взуття працівника - сухі, куртка не заправляється в брюки, брюки - на випуск.

Обслуговування електрообладнання треба виконувати у відповідності з «Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок користувачів». Огляд та ремонт апарату для електроіскрової обробки БГ-4 проводити регулярно, заміну елементів проводити тільки після відключення апаратури від мережі. Працівники повинні бути забезпечені засобами захисту від шкідливих впливів.

4.2.3 Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з ОП і пожежної безпеки

Організаційні

1. Весь перелік послуг, які надаються підприємством, сертифікувати на відповідність до вимог нормативної документації з ОП
2. Провести експертизу та ліцензування проектно-конструкторської і технологічної документації на відповідність нормативним актам
3. Провести атестацію робочих місць
4. Оновити стенди з ОП
5. Для інструктажу й навчання працівників з ОП застосовувати сучасні методи активного навчання, виховання у працівників психології і культури безпеки, що унеможливило б будь-які небезпечні дії

Технічні заходи

1. Вдосконалити систему штучного освітлення на дільниці.
2. Установити пристрої для кондиціонування повітря на дільниці
3. Встановити захисні огороження навколо електротрансформатора

4. Підвищити стійкість технологічного обладнання підприємства: верстатів, стендів, приладів та ін.

Санітарно-гігієнічні заходи

1. Вчасно забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту.
2. Встановити кондиціонери в адміністративних приміщеннях
3. Обладнати кімнати відпочинку для працівників

Заходи з пожежної безпеки

1. Запровадження систем попередження пожеж та систем протипожежного захисту.
2. Забезпечити постійний контроль наявності і стану пожежного інвентаря.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування розробок

Розрахунок собівартості ремонту валу ротора турбокомпресора

Собівартість – це грошовий вираз затрат праці і витрат матеріальних засобів на одиницю відновлення деталі.

Собівартість є сумою прямих і накладних (непрямих) витрат.

Прямі витрати - основна і додаткова заробітна плата працівників, відрахування на соцстрахування, вартість матеріалів та запасних частин. [37,38].

Визначаємо кількість матеріалів для виконання електроіскрового напощування валу ротора турбокомпресора та витрати на ремонт одного валу (табл. 4.1).

З таблиці 4.1 видно, що витрати на матеріали склали: на діагностику ротора турбокомпресора – 4.5 грн., на відновлення валу – 197.58 грн., ремонту ротора турбокомпресора – 8.5 грн., шліфування відновлених поверхонь валу – 79,1 грн.

Таблиця 4.1 – Витрати матеріалів для ремонту валу ротора турбокомпресора

Необхідний матеріал, ресурс	Діагностика ротора турбокомпресора		Відновлення валу		Ремонт валу		Шліфування поверхонь валу	
	Необ- хідна к- ть	Ціна, грн	Необ- хідна к- ть	Ціна, грн	Необ- хідна к- ть	Ціна, грн	Необ- хідна к- ть	Ціна, грн
Електроенергія, кВт	2.4	4.5	22,0	41.58	4,5	8.5	10,1	19,1
Електроди для електроіскрового нарощування, шт.	-	-	2	156	-	-	-	-
Шліфувальний круг ПП600 × 25 × 305 ЭБ16- 25С1Б ЭБ16-25С1К, шт	-	-	-	-	-	-	0,025	30
Шліфувальний круг ПП600 × 25 × 305 КЧ16- 25С1К КЗ 16-25С1К, шт	-	-	-	-	-	-	0,025	30
Разом		4.5		197.58		8.5		79,1

Розраховуємо кількість спожитої енергії:

$$N = k \cdot N_{\text{в}} = 0,55 \cdot 40 = 22 \text{ кВт/год.}, \quad (4.1)$$

де k – коефіцієнт одночасної роботи технологічного обладнання;

$N_{\text{в}}$ – загальна витрата електроенергії кВт/год.

Витрати на електроенергію:

$$1.89 \cdot 22 = 41,58 \frac{\text{грн}}{\text{кВт/год}} \quad (4.2)$$

Обладнання працюватиме 6 годин на добу, витрати електроенергії за добу:

$$B_{\text{е.д.}} = 41,58 \cdot 6 = 291,48 \text{ грн.}$$

Витрати за рік становитимуть:

$$B_{\text{е.р.}} = 291,48 \cdot 253 = 73744,44 \text{ грн.}$$

Визначаємо потребу у персоналі для дільниці електроіскрової обробки на 2020 рік (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Розрахунок оплати праці персоналу

Фах працівника	Чисельність працівників	Фонд оплати праці, грн.		
		за місяць	за рік	питома вага, %
Шліфувальник	1	4130	49560	35,1
Наплавлювальник	1	4500	54000	29,8
Контролер-діагност	1	4130	49560	35,1
Разом	3	12760	153120	100,0

Тривалість діагностування приймаємо 1 год., електроіскрове нарощування – 4 год., шліфування – 4 год. Заробітна плата: $31,3 + 136,4 + 125,15 = 292,85$ грн.

Собівартість відновлення валу ротора визначаємо за формулою:

$$C = O_n + H, \text{ грн.}, \quad (4.3)$$

де O_n – заробітна плата, грн.;

H – накладні витрати, грн.

До накладних витрат відносяться витрати на електроди для нарощування – 150 грн. та на шліфувальні круги – 60 грн.

Вартість матеріалів на одиницю наданих послуг приводимо в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок собівартості відновлення валу ротора

Найменування статті витрат	Відновлення валу ротора
Оплата праці, грн.	292,85
Електроенергія, грн.	291,48
Вартість матеріалів, ресурсів	210
Разом	794,33

Економічна доцільність ремонту визначається порівнянням собівартості нарощування валу з вартістю аналогічного нового валу. Потрібно забезпечити нерівність:

$$\frac{C_p}{\eta_{\text{дов}}} \leq C_{\text{нов}}, \quad (4.4)$$

де $C_p = 794,33$ грн. – собівартість відновлення одного валу ротора при розробленому процесі електроіскрового нарощування;

$C_{\text{нов}} = 1030$ грн. – вартість нового валу ротора;

$\eta_{\text{дов}} = 0,8-0,9$ – коефіцієнт довговічності,

$$\frac{794,33}{0,9} = 882 \text{ грн.}, \quad 882,6 \text{ грн.} < 1030 \text{ грн.}$$

Отже, собівартість відновлення валу ротора турбокомпресора становить 882,6 грн., а вартість аналогічного нового валу становить 1030 грн. Із співвідношення видно, відновлення електроіскровим нарощуванням відновлення є доцільним.

Висновки. У даному розділі ми запропонували розроблені нами:

- на основі проведеної екологічної експертизи, заходи по зменшенню шкідливого впливу на екологічний стан навколишнього середовища діяльності дільниці по відновленню деталей електроіскровим нарощуванням;
- заходи з охорони праці;
- техніко-економічне обґрунтування впровадження розробок у виробництво.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Ми провели ґрунтовний аналіз методів відновлення валів роторів турбокомпресорів, на основі чого прийшли до висновку, що електроіскрове нарощування є однією з прогресивних технологій у ремонтному виробництві, можливості якої ще повністю не з'ясовані.

2. Аналіз умов експлуатації, навантажень і вимог до надійності валів роторів турбокомпресорів, показує, що їх ресурс обмежується знос опорних поверхонь під підшипник ковзання.

3. На підставі аналізу основних дефектів та величини зносів валів підтверджено можливість застосування електроіскрового нарощування для відновлення зношених поверхонь.

4. Проведений аналіз технологічного обладнання і обґрунтовано установки для електроіскрової обробки БІГ-4.

5. Розрахунковим шляхом нами визначений коефіцієнт суцільності покриття електроіскрового нарощування $K_c = 0,785$.

6. Експериментально доведено, що оптимальне покриття формується після 3 проходів електрода.

7. Нами отримані розрахункові значення $n_d = 21,91 \text{ хв.}^{-1}$, $s = 1,29 \text{ мм/об.}$, частота вібрації електрода - 50 Гц, число проходів п електрода - 1...4.

8. Обґрунтували підвищення продуктивності процесу електроіскрового нарощування

9. Ми провели аналіз мікроструктури та твердості, що дало змогу зробити висновок: при нарощуванні сталлю 65 твердість поверхні збільшується у 2,24 рази порівняно з твердістю сталі 40Х (матеріал валу).

10. Виробничими випробуваннями встановлено, що коефіцієнт підвищення ресурсу з відновленням валів електроіскровою обробкою підвищується у 1,75-2,78 рази (в середньому – 2,05рази).

11. Проведені екологічна експертиза та аналіз заходів з охорони праці.

12. Визначена техніко-економічна ефективність запропонованого способу відновлення деталей

Отже, використання запропонованих способу, обладнання і розрахованих параметрів режиму відновлення дозволяє підвищити зносостійкість відновлених деталей, зменшити витрати на ремонт, тому пропонуємо впровадити у виробництво, що є доцільним як з технологічної, так і з техніко-економічних міркувань.