

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра агроінженерингу

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

СВО «МАГІСТР»

на тему Обґрунтування технічного забезпечення мобільного
пункту ремонту тракторів марки New Holland серії T6

Виконав (ла): студент (ка) 2м курсу,
групи СТЗ 2301-2м ВН
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Писарєв В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Думанчук М.Ю.

(прізвище та ініціали)

м. Суми - 2024

СНАУ



РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи магістра має 71 сторінку, 18 рис., 4 табл., 37 літературних джерел.

Метою роботи є підвищення ефективності системи забезпечення працездатності тракторів.

Об'єкт дослідження – методи організації технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки захисту поверхонь тертя деталей сільськогосподарської техніки від фретинг-корозії.

Предмет дослідження – якісні параметри поверхневих шарів поверхонь відновлених деталей сільськогосподарської техніки.

Проаналізовано особливості експлуатації тракторів марки Ntw Holland, організацію служби технічного сервісу, структуру операцій по ТО і ремонту тракторів, можливості мобільних пунктів ремонту, технології відновлення зношених поверхонь деталей.

Розроблено компонування обладнання та інструменту в мобільному пункті ремонту, технологічні рекомендації щодо електроіскрового легування для відновлення зношених деталей, вплив поверхнево-пластичного деформування на якість поверхневого шару деталі.

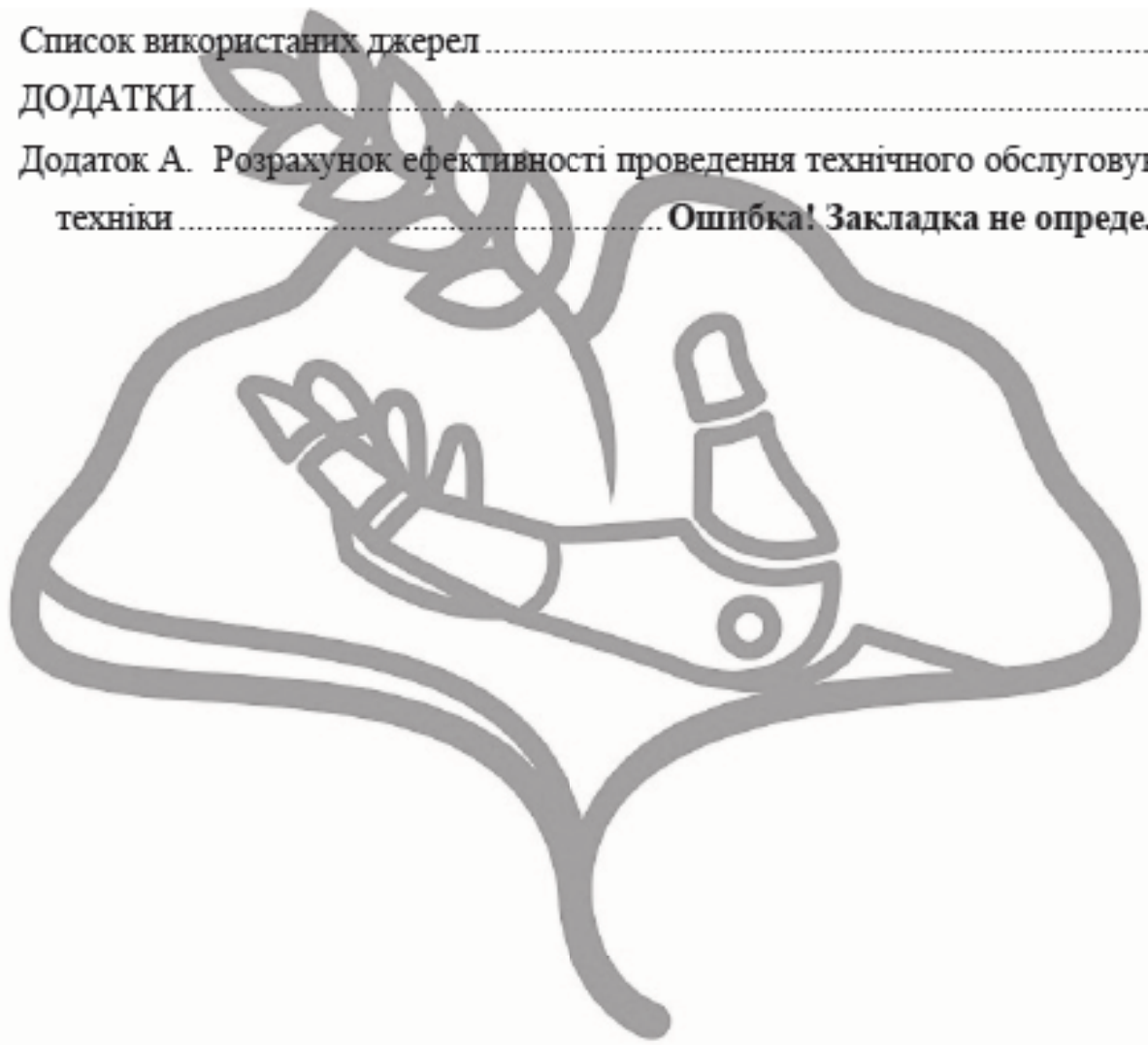
ТРАКТОР, РЕМОНТ, МОБІЛЬНИЙ ПУНКТ РЕМОНТУ, ВІДНОВЛЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ.

Технологічний
факультет
СНАУ

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Аналіз стану питання.....	7
1.1 Аналіз особливостей експлуатації тракторів New Holland.....	7
1.2 Організація технічного обслуговування та ремонту тракторів New Holland.....	9
1.3 Особливості застосування мобільних пунктів ремонту.....	13
1.4 Висновки по розділу 1.....	22
Розділ 2 Вдосконалення технічного забезпечення мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland.....	23
2.1 Технологічний процес відновлення типових несправностей для трактора New Holland.....	23
2.2 Особливості застосування методу електроіскрового легування під час ремонту тракторів New Holland.....	26
2.3 Дослідження закономірностей формування методом ЕІЛ відновлених шарів деталей при відновленні.....	36
2.4 Дослідження комбінованих електроерозійних покриттів.....	37
2.5 ПЦД електроерозійних покриттів.....	43
2.6 Технологічні рекомендації щодо зміцнення та відновлення деталей типу валів.....	50
2.7 Висновки по розділу 2.....	54
Розділ 3 Охорона праці.....	55
3.1 Організація роботи з охорони праці на підприємстві.....	55
3.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці в мобільному пункті ремонту тракторів.....	57
3.3 Висновки до розділу 3.....	59
Розділ 4 Техніко-економічна оцінка ефективності мобільного пункту ремонту.....	61
4.1. Економічне обґрунтування застосування мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland.....	61
4.2 Висновки до розділу 4.....	63
ВИСНОВКИ.....	64

Список використаних джерел.....	65
ДОДАТКИ.....	69
Додаток А. Розрахунок ефективності проведення технічного обслуговування техніки.....	Ошибка! Закладка не определена.



Інженерно-технологічний факультет СНАУ

Вступ

Сільськогосподарський сектор значною мірою покладається на ефективність і надійність своєї техніки, зокрема тракторів, для забезпечення безперервної роботи та максимального підвищення продуктивності. Система технічного обслуговування тракторів відіграє вирішальну роль у підтримці продуктивності та довговічності цього важливого обладнання.

Технічне обслуговування сільськогосподарської техніки є фундаментальним аспектом, який безпосередньо впливає на загальну ефективність сільськогосподарського виробництва. Регулярне технічне обслуговування не тільки забезпечує оптимальну роботу тракторів, але й значно продовжує термін їх служби. Дотримуючись графіків технічного обслуговування та своєчасно проводячи перевірки, фермери можуть виявляти та вирішувати потенційні проблеми до їх загострення, тим самим зменшуючи ризик несподіваних поломок і дорогого ремонту. Крім того, доглянутий трактор сприяє безпеці операторів і працівників, оскільки справне обладнання зводить до мінімуму ймовірність нещасних випадків і травм. Крім того, ефективність і продуктивність сільськогосподарських робіт досягаються максимально, коли трактори працюють на максимальному рівні продуктивності, виконуючи завдання вчасно та ефективно.

Ефективна система технічного обслуговування тракторів складається з кількох ключових компонентів, необхідних для забезпечення надійності та довговічності. По-перше, встановлення графіків регулярного технічного обслуговування та перевірок є обов'язковим для моніторингу стану обладнання та негайного вирішення будь-якого зносу. По-друге, наявність оригінальних запчастин і доступ до кваліфікованих спеціалістів є вирішальними для ефективного виконання ремонту та заміни. Наявність команди кваліфікованих техніків, які добре розбираються в тонкощах технічного обслуговування трактора, має важливе значення для точної діагностики проблем і відновлення оптимального робочого стану обладнання.

Крім того, надання програм навчання для операторів машин щодо процедур технічного обслуговування та методів усунення несправностей дає їм змогу своєчасно виявляти незначні проблеми та вживати профілактичних заходів, щоб уникнути серйозних несправностей.

Інвестування в комплексну систему технічного обслуговування тракторів дає безліч переваг для фермерів і агробізнесу. Зменшуючи час простою через несподівані поломки, фермери можуть забезпечити безперервну роботу в критичні періоди, такі як сезони посіву та збору врожаю, що в кінцевому підсумку призводить до підвищення продуктивності. Крім того, витрати, пов'язані з ремонтом і заміною, зводяться до мінімуму, якщо технічне обслуговування проводиться завчасно, що призводить до довгострокової економії для сільськогосподарських підприємств. Крім того, добре обслуговуваний парк тракторів підвищує загальну надійність, вселяючи впевненість у продуктивності обладнання та зводячи до мінімуму збої в повсякденній роботі. Зрештою, пріоритетність технічного обслуговування сприяє стійкості та прибутковості фермерів та агробізнесу, оскільки надійна техніка є основою успішного сільськогосподарського виробництва.

Система технічного обслуговування тракторів відіграє провідну роль у формуванні ефективності та продуктивності сільськогосподарського виробництва. Підкреслюючи важливість технічного обслуговування, окреслюючи компоненти ефективної системи технічного обслуговування та висвітлюючи переваги інвестування в таку систему, стає очевидним, що проактивна практика технічного обслуговування є важливою для сталої роботи тракторів у сільськогосподарському секторі. Застосування комплексного підходу до технічного обслуговування не тільки забезпечує оптимальну продуктивність і довговічність тракторів, але й сприяє розвитку культури безпеки, надійності та прибутковості в сільськогосподарській галузі.

Розділ 1

Аналіз стану питання

1.1 Аналіз особливостей експлуатації тракторів New Holland

Трактори New Holland давно стали синонімом інновацій, ефективності та надійності в сільськогосподарському секторі. Маючи багату історію, починаючи з 19-го століття, New Holland послідовно розсуває межі тракторних технологій, щоб задовольнити зростаючі потреби фермерів у всьому світі.

Однією з ключових особливостей тракторів New Holland є система керування потужністю двигуна. Ця інноваційна технологія дозволяє двигуну оптимізувати потужність і крутний момент залежно від навантаження на трансмісію, забезпечуючи максимальну ефективність і продуктивність [1]. Серія T9, наприклад, представляє вершину потужності та точності тракторів New Holland, потужністю від 467 до 699 кінських сил і оснащених SmartTrax™ для покращеного зчеплення та маневреності [2]. Більше того, прагнення New Holland надавати геніальні рішення для сільського господарства, одночасно сприяючи екологічній стійкості, ще більше підкреслює відданість бренду досконалості [3].

Інтеграція передових технологій є відмінною рисою тракторів New Holland з акцентом на точне землеробство та рішення для підключення. Точна технологія New Holland охоплює цифрові програми та обладнання, які дозволяють фермерам приймати обґрунтовані рішення та максимізувати продуктивність у полі [4]. Автопілот, складну систему навігації, можна легко інтегрувати в трактори та збиральні машини різних марок, пропонуючи автоматичне наведення та точне керування одним натисканням кнопки [4]. Такий рівень технологічної інтеграції не тільки підвищує ефективність роботи, але й спрощує складні завдання для фермерів, роблячи сільське господарство більш раціональним і продуктивним [5].

На додаток до передових функцій і технологій, трактори New Holland

перевершують аспекти технічного обслуговування та сервісу, пропонуючи подовжені інтервали обслуговування та додаткові переваги для клієнтів. Завдяки збільшеним 600-годинним інтервалам заміни масла фермери витрачають менше часу на виконання завдань з технічного обслуговування та отримують переваги від скороченої частоти технічного обслуговування, що зрештою економить час і ресурси [6]. Регулярне технічне обслуговування, включаючи перевірку та заміну фільтрів, рекомендується кожні 100 годин, щоб забезпечити оптимальну продуктивність і довговічність обладнання [7]. Забезпечуючи додаткові переваги через інтервали технічного обслуговування, що перевищують стандартні вимоги, New Holland посилює свою прихильність задоволенню клієнтів і ефективності роботи [8].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд трактора New Holland.

Трактори New Holland є яскравим прикладом технологічних інновацій, ефективності та надійності в галузі сільськогосподарського машинобудування. Від розширених функцій, таких як керування живленням двигуна, до безперебійної інтеграції технологій і технічного обслуговування, орієнтованого на клієнта, New Holland продовжує встановлювати еталон

досконалості в експлуатації сучасного сільськогосподарського обладнання. У міру розвитку сільськогосподарського ландшафту New Holland залишається на передовій, надаючи фермерам інструменти, необхідні для процвітання в конкурентному середовищі.

1.2 Організація технічного обслуговування та ремонту тракторів New Holland

На даний час досить часто спостерігаються випадки недотримання правил використання і обслуговування тракторів, що знижує ресурс їх основних агрегатів і систем. Відтак при оцінюванні надійності розрізняють нормальну експлуатацію, при якій дотримуються всі правила використання і технічного обслуговування тракторів, і рядову - з відхиленнями від цих правил. Аналіз рядової експлуатації значної кількості тракторів показав, що можна виділити декілька основних факторів, що найбільше впливають на рівень їх надійності.

Дослідженням факторів, що впливають на рівень експлуатаційної надійності тракторів, розглядаються багатьма вченими і описані в сучасних виданнях з надійності і ремонту сільськогосподарської техніки, а також з експлуатації машинно-тракторного парку. Слід відзначити роботи в яких виконана оцінка умов експлуатації і їх впливу на надійність техніки за авторством В.Я. Аніловича, І.П. Сичова, В.М. Забродського, Г.Е. Топіліна і ряду інших [1]. Передбачається, що техніка в процесі експлуатації знаходиться під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. Дослідження вказують на те, що при збільшенні числа зовнішніх факторів до чотирьох, інтенсивно зменшується експлуатаційна надійність техніки, проте даний підхід дає можливість отримати загальну оцінку впливу числа зовнішніх факторів на експлуатаційну надійність і не відображає ступеня впливу кожного з них та не враховує їх взаємного впливу. Наприклад у роботі рівень технічної експлуатації оцінюється п'ятьма основними факторами: організація технічного

обслуговування; організація і якість проведення ремонтів; кваліфікація механізаторів; організація зберігання і заправки паливно-мастильними матеріалами; організація зберігання тракторів. Оцінка кожного основного фактора складається з оцінок визначальних факторів, які мають свій індекс. На підставі цього індексу знаходиться чисельне значення основного фактора, а його вага в ряду ранжування 1, 2, 3, 4, 5 відповідно дорівнює: 1,0; 0,75; 0,50; 0,31; 0,19 [6].

До таких факторів, зокрема, відносяться якість обкатки трактора, організація і якість ТО, якість поточного ремонту, умови зберігання і якість ПММ, кваліфікація механізатора, якість зберігання тракторів, рівень технічного забезпечення господарств, рівень організації використання тракторів. Кожен з основних факторів, у свою чергу, характеризується визначальними факторами. Наприклад, організація і якість ТО залежать від повноти виконуваних операцій, наявності устаткування і інструменту, періодичності і місця виконання ТО, складу виконавців. Величина кожного визначального фактора кількісно оцінюється за допомогою умовних чисельних значень, що відображають фізичну суть цього фактора.

Для вивчення проблем надійності тракторів було проведено опитування експлуатантів техніки різних виробників. В процесі опитування досліджувалося при якому напрацюванні відбувається перший вихід трактора з ладу. Отримані результати представлені на рисунку 1.2.

Інженерно-технологічний факультет СНАУ

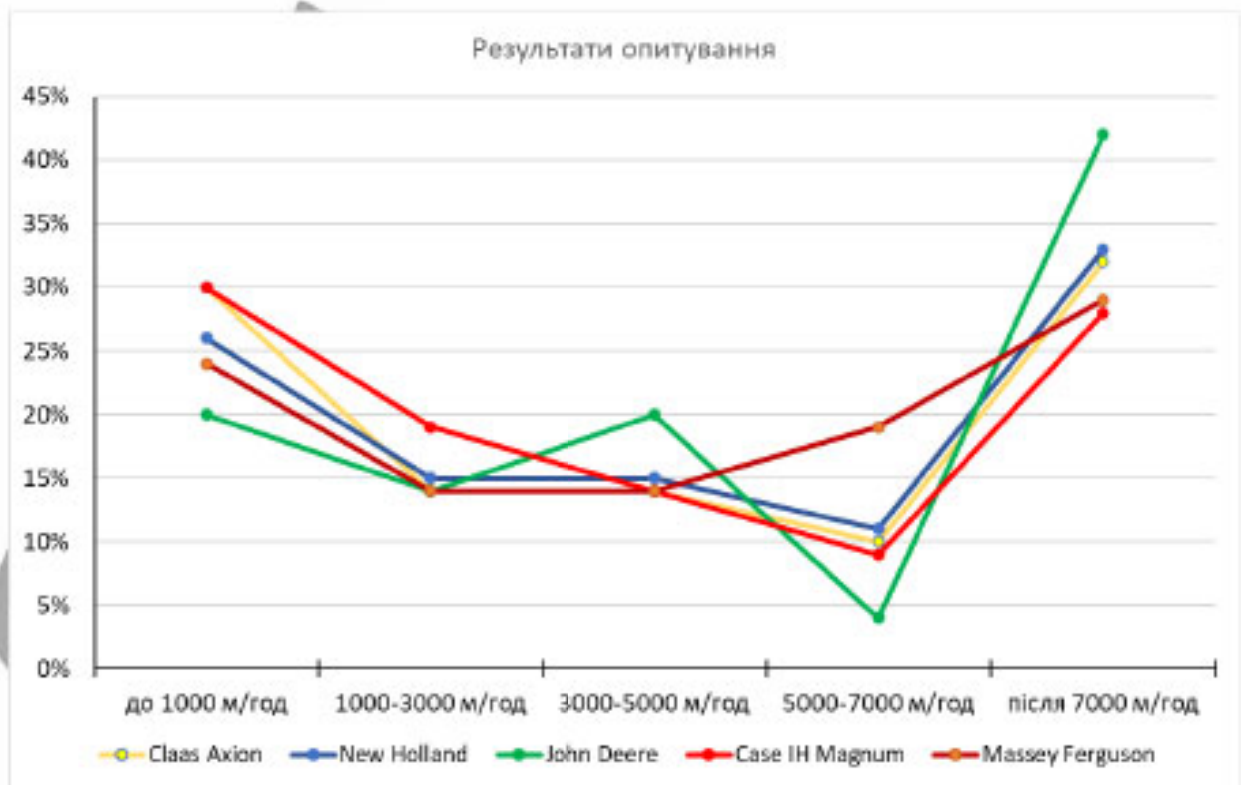


Рисунок 1.2 – Результати опитування щодо надійності тракторів.

Звичайно, дані для кожного трактора генеруються анонімно в соціальних мережах і відкриті для всіх і будь-кого, тому ми не можемо стверджувати, що точність цих значень є абсолютно достовірною. Все-таки корисніше порівняти ці значення для різних тракторів. Загальна картина тут дуже чітка.

John Deere 8R виявився найнадійнішим трактором у перші 1000 м/год, причому більшість серйозних несправностей траплялися під час найдовшого пробігу понад 7000 м/год!

Ефективна робота сільськогосподарської техніки, зокрема тракторів, має вирішальне значення для сучасного землеробства. Серед провідних брендів у галузі трактори New Holland виділяються своєю надійністю та продуктивністю. Однак ефективність цих машин значною мірою залежить від комплексної програми технічного обслуговування.

Технічне обслуговування тракторів New Holland включає в себе різноманітні процедури, спрямовані на оптимізацію продуктивності та

продовження терміну служби обладнання. Ефективне технічне обслуговування та ремонт тракторів не тільки гарантують ефективнішу роботу цих машин, але й з часом підвищують безпеку та продуктивність [8]. Кожному трактору присвоюється унікальний серійний номер, який відіграє вирішальну роль в ідентифікації машини та її основних компонентів, дозволяючи ефективно відстежувати історію технічного обслуговування та заміни деталей [9]. Примітно, що багато тракторів New Holland оснащені необслуговуваними батареями, які вимагають мінімального нагляду, але все ще мають переваги від регулярних перевірок чистоти, щоб запобігти погіршенню [9]. Важливу роль в підтриманні працездатного стану техніки відіграють численні процедури профілактичного технічного обслуговування, особливо зосереджуючись на методах технічного обслуговування на основі стану (CBM), які дозволяють своєчасно втручатися на основі фактичного стану трактора, а не фіксованих графіків [10].

Впровадження належних процедур технічного обслуговування та найкращих практик має важливе значення для успішного технічного обслуговування тракторів New Holland. Процедури технічного обслуговування — це ретельно задокументовані вказівки, які описують кроки, необхідні для перевірки, ремонту, обслуговування та ефективного обслуговування обладнання [11]. Однією з основних найкращих практик є проведення регулярних перевірок і доливання рідини; їх слід планувати часто, щоб забезпечити перевірку та підтримку критичних рівнів рідин, таких як моторне масло, охолоджуюча рідина, гальмівна рідина та рідина гідропідсилювача [12]. Крім того, забезпечення правильного тиску повітря в шинах є життєво важливим, оскільки це допомагає рівномірно розподілити вагу трактора, збільшуючи довговічність шин і стійкість автомобіля [13]. Такі профілактичні заходи дозволяють істотно знизити ймовірність несподіваних поломок і підвищити загальну ефективність обладнання.

В організації технічного обслуговування тракторів New Holland роль техніків з технічного обслуговування є незамінною. На цих професіоналів

покладено основні обов'язки щодо технічного обслуговування, усунення несправностей та ремонту обладнання [14]. В їх обов'язки входить не тільки планове технічне обслуговування, але й діагностика неполадок і проведення необхідного ремонту для запобігання простою в роботі [15]. Техніки з технічного обслуговування покладаються на різні електроінструменти для виконання своїх завдань, які включають свердління, загвинчування гвинтів і затягування болтів, таким чином гарантуючи, що всі компоненти трактора функціонують належним чином [16]. Досвід цих техніків має вирішальне значення для підтримки робочої готовності тракторів і забезпечення їх відповідності вимогам сільськогосподарських робіт.

Організація технічного обслуговування тракторів New Holland — це багатогранний процес, який включає розуміння вимог до обслуговування, дотримання найкращих практик і використання досвіду кваліфікованих техніків. Регулярне технічне обслуговування не тільки підвищує продуктивність і безпеку тракторів, але й продовжує термін їх служби. Впроваджуючи структуровані процедури технічного обслуговування та використовуючи техніку технічного обслуговування, засновану на стані, фермери можуть гарантувати, що їхні трактори New Holland залишатимуться ефективними та надійними, що зрештою підтримає продуктивність сільського господарства.

1.3 Особливості застосування мобільних пунктів ремонту

Сільськогосподарський сектор значною мірою покладається на ефективну техніку, зокрема трактори, для підвищення продуктивності та продуктивності. Трактори New Holland, відомі своєю надійністю та передовими технологіями, відіграють вирішальну роль у сучасній сільськогосподарській практиці. Однак потенційна можливість механічної несправності або неефективності роботи вимагає надійної системи ремонту та технічного обслуговування. Щоб задовольнити цю потребу, головною

стратегією стало створення мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland. Такий підхід не тільки сприяє своєчасному ремонту, але й підвищує загальну ефективність роботи фермерів.

Мобільні ремонтні пункти є важливим компонентом екосистеми обслуговування сільськогосподарської техніки, зокрема тракторів New Holland. Визначення та призначення цих точок має вирішальне значення для забезпечення швидкого доступу фермерів до послуг з ремонту, коли вони стикаються з механічними проблемами. Переваги мобільних ремонтних пунктів численні; вони забезпечують зручність, скорочують час простою та часто нижчі витрати на транспортування порівняно з традиційними ремонтними послугами. Наприклад, замість того, щоб транспортувати несправний трактор у віддалену ремонтну майстерню, фермери можуть покластися на мобільних техніків, які приїжджають безпосередньо до них, мінімізуючи збої в сільськогосподарських роботах. Крім того, мобільні пункти ремонту можуть працювати в районах, де традиційні послуги можуть бути дефіцитними, гарантуючи, що фермери у віддалених місцях не будуть у невідповідному становищі. Порівняльний аналіз показує, що в той час як традиційні послуги з ремонту часто передбачають тривалий час очікування та логістичні проблеми, мобільні пункти ремонту спрощують процес ремонту, зрештою підвищуючи продуктивність сільськогосподарського сектора.

При призначенні мобільних ремонтних пунктів необхідно враховувати кілька критичних факторів, щоб забезпечити їх ефективність і доступність для аграріїв. Географічний розподіл тракторів New Holland у певному регіоні має першочергове значення; райони з високою концентрацією цих тракторів мають бути пріоритетними для мобільних ремонтних служб. Це не тільки гарантує доступність послуг там, де вони найбільше потрібні, але й оптимізує розподіл ресурсів. Крім того, ключовим фактором є зручність для фермерів; мобільні пункти ремонту повинні бути стратегічно розташовані, щоб мінімізувати час у дорозі та максимально збільшити доступність послуг. Крім того, наявність кваліфікованих спеціалістів та необхідних інструментів має

вирішальне значення для забезпечення якісного та ефективного проведення ремонту. Слід запровадити навчальні програми для техніків, щоб надати їм навичок, необхідних для вирішення різноманітних проблем, які можуть виникнути з тракторами New Holland. Враховуючи ці фактори, мобільні ремонтні пункти можна успішно інтегрувати в агроландшафт, надаючи аграріям надійну та своєчасну підтримку.

Успішне впровадження мобільних пунктів ремонту вимагає комплексної стратегії, яка охоплює розвиток надійної мережі, навчання техніків і маркетингові зусилля. Створення мережі мобільних пунктів ремонту передбачає визначення ключових місць на основі концентрації тракторів New Holland і забезпечення укомплектованості цих пунктів кваліфікованими техніками, оснащеними необхідними інструментами та деталями для ремонту. Крім того, навчальні програми для техніків є життєво важливими для підтримки високого рівня обслуговування; ці програми повинні зосереджуватися на конкретних технологіях, які використовуються в тракторах New Holland, щоб техніки могли ефективно діагностувати та ремонтувати проблеми. Нарешті, маркетингові та просвітницькі кампанії відіграють вирішальну роль в інформуванні фермерів про доступність і переваги послуг мобільного ремонту. Використовуючи місцеві сільськогосподарські ярмарки, громадські заходи та стратегії цифрового маркетингу, зацікавлені сторони можуть ефективно охоплювати фермерів, навчати їх про доступні послуги та заохочувати їх використовувати мобільні пункти ремонту. Цей багатогранний підхід не тільки підвищує охоплення та ефективність послуг мобільного ремонту, але й сприяє зміцненню зв'язку між постачальниками послуг та фермерською спільнотою.

Призначення мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland є значним прогресом в обслуговуванні сільськогосподарської техніки. Пропонуючи миттєвий доступ до ремонтних послуг, ці точки підвищують ефективність роботи та мінімізують час простою для фермерів. Стратегічний розгляд географічного розподілу, зручності для фермерів і кваліфікації

техніків гарантує, що ці мобільні послуги відповідають потребам сільськогосподарської спільноти. Крім того, стратегії впровадження, що включають розвиток мережі, навчання техніків і маркетингові кампанії, є важливими для успішної інтеграції мобільних пунктів ремонту в ландшафт сільського господарства. Оскільки сільськогосподарський сектор продовжує розвиватися, створення мобільних ремонтних пунктів, безсумнівно, відіграватиме вирішальну роль у підтримці фермерів, тим самим сприяючи підвищенню продуктивності та сталості сільського господарства.

Мобільні ремонтні пункти для тракторів New Holland визначаються як спеціалізовані сервісні підрозділи, які обладнані для виконання технічного обслуговування та ремонту в полі, а не вимагають транспортування техніки до фіксованого місця. Основне призначення цих мобільних пристроїв полягає в тому, щоб підвищити доступність послуг з ремонту, дозволяючи оперативно звертати увагу на механічні проблеми, які можуть виникнути під час критичних сільськогосподарських операцій. Важливість мобільності в обслуговуванні сільськогосподарської техніки неможливо переоцінити; здатність вирішувати потреби в ремонті на місці допомагає запобігти тривалим перервам у сільськогосподарській діяльності, які можуть мати значні фінансові наслідки. Історично концепція мобільних пунктів ремонту розвивалася разом із прогресом сільського господарства, зокрема зі збільшенням складності машин, таких як трактори New Holland. У міру того, як ці транспортні засоби містять більш складні технології, потреба в спеціалізованих рішеннях для ремонту на ходу зростає, що призвело до створення мобільних пунктів ремонту, які добре обладнані для вирішення різноманітних завдань, що постають у полі.

Ефективність мобільних ремонтних пунктів залежить від наявності необхідного технічного обладнання, адаптованого до конкретних потреб тракторів New Holland. На найфундаментальнішому рівні основні ручні інструменти складають основу будь-якої установки для ремонту мобільних пристроїв. До них належать різноманітні гайкові ключі, торцеві ключі та

викрутки, які життєво необхідні для виконання рутинних завдань, таких як затягування ослаблених з'єднань, заміна зношених частин і проведення загальних перевірок технічного обслуговування. Крім того, плоскогубці та різучі інструменти відіграють вирішальну роль у полегшенні ремонту, дозволяючи технікам ефективно маніпулювати різними компонентами. Наприклад, плоскогубці незамінні для захоплення та маневрування предметів різного розміру, тоді як кусачки для дроту необхідні для роботи з електричними системами, які часто зустрічаються в сучасних тракторах. Стратегічний вибір цих інструментів гарантує, що техніки з ремонту будуть належним чином підготовлені до вирішення широкого кола механічних проблем, тим самим підвищуючи ефективність і результативність мобільних ремонтних пунктів.

У роботі мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland головне питання безпеки та ефективності. Для захисту здоров'я та благополуччя техніків важливо дотримуватися протоколів безпеки. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), такі як рукавички, захисні окуляри та черевики зі сталевими носками, мають бути стандартними компонентами будь-якого мобільного ремонтного підрозділу, оскільки вони призначені для захисту працівників від потенційних небезпек, пов'язаних з механічним ремонтом. Крім того, наявність вогнегасників і аптечок має вирішальне значення для вирішення надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути через характер роботи, наприклад, легкозаймісті матеріали або випадкові травми. Віддаючи пріоритет обладнанню безпеки та протоколам, мобільні пункти ремонту не тільки відповідають нормативним стандартам, але й сприяють культурі безпеки, яка є життєво важливою для підтримки ефективності роботи. Таким чином, ретельне врахування заходів безпеки сприяє загальній ефективності послуг мобільного ремонту, гарантуючи, що сільськогосподарська техніка може обслуговуватися з мінімальним ризиком для техніків і оптимальним часом безвідмовної роботи для фермерів.

Мобільні пункти ремонту тракторів New Holland відіграють незамінну

роль у сільськогосподарському секторі, долаючи розрив між обслуговуванням техніки та ефективністю експлуатації. Забезпечуючи ремонт на місці, ці агрегати допомагають скоротити простой та підвищити продуктивність для фермерів, які покладаються на важку техніку. Основне технічне обладнання, включно з ручними інструментами та спеціальним обладнанням, дає змогу технікам ефективно вирішувати широкий спектр механічних проблем. У поєднанні з суворими міркуваннями щодо безпеки мобільні пункти ремонту не лише забезпечують добробут персоналу, але й підтримують сталість сільськогосподарської практики. Оскільки вимоги сучасного сільського господарства продовжують розвиватися, значення добре обладнаних мобільних ремонтних пунктів, безсумнівно, зростатиме, посилюючи їх критичну функцію в обслуговуванні техніки, яка забезпечує продуктивність сільського господарства.

Інженерно-технологічний факультет СНАУ



Рисунок 1.3 – Варіант компоновки мобільного пункту ремонту тракторів

Для ефективного обслуговування цих тракторів необхідний повний перелік обладнання та інструментів. Основні ручні інструменти є наріжним каменем мобільного ремонту тракторів New Holland. Серед них гайкові ключі є життєво важливими для послаблення або затягування різних компонентів. Регульовані гайкові ключі пропонують універсальність, дозволяючи технікам працювати з різними розмірами гайок і болтів без необхідності використання кількох інструментів. З іншого боку, торцеві гайкові ключі забезпечують

ефективність і легкість використання, особливо при роботі в обмеженому просторі двигуна, де стандартний гайковий ключ може не підійти. Крім того, викрутки, як плоскі, так і хрестові, незамінні для доступу до різних частин трактора, таких як електричні компоненти та покриття панелей. Неможливо переоцінити важливість наявності добре укомплектованого інструментарію з цими ручними інструментами, оскільки вони дозволяють швидко ремонтувати та налагоджувати, підвищуючи загальну ефективність процесу ремонту.

Окрім ручного інструменту, важливу роль у виявленні та вирішенні проблем із тракторами New Holland відіграє діагностичне обладнання. Електронні діагностичні засоби, такі як бортові діагностичні сканери (OBD-II), революціонізували підхід техніків до ремонту. Ці пристрої можуть зчитувати коди помилок, створені бортовим комп'ютером трактора, надаючи інформацію про можливі несправності. Наприклад, якщо у трактора виникають проблеми з продуктивністю, сканер OBD-II може точно визначити, чи проблема полягає в паливній системі, електричних компонентах або роботі двигуна. Аналізатори двигуна додатково розширюють діагностичні можливості, дозволяючи технікам оцінювати важливі параметри, такі як паливна ефективність, вихлопні гази та загальний стан двигуна. Використовуючи ці передові інструменти діагностики, техніки можуть приймати обґрунтовані рішення щодо ремонту, зрештою економлячи час і ресурси, забезпечуючи при цьому максимальну ефективність трактора.

Обладнання безпеки та аксесуари мають першочергове значення в середовищі мобільного ремонту, де технічні працівники часто зазнають небезпечних умов. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) необхідні для захисту від можливих травм. Це включає в себе захисні окуляри для захисту очей від летючого сміття або хімікатів, рукавички для запобігання порізам і саднам і черевики зі сталевими носками для захисту ніг від важкої техніки. Крім того, носіння жилетів підвищеної видимості має вирішальне значення під час роботи на відкритому повітрі, особливо в місцях, де часто ходять інші транспортні засоби чи механізми. Впровадження цих заходів безпеки не тільки

захищає техніка, але й сприяє розвитку культури безпеки на робочому місці. Обладнавши мобільні пункти ремонту відповідним обладнанням безпеки, оператори можуть зменшити ризики та забезпечити безпечне робоче середовище під час обслуговування тракторів New Holland.

Для технічного обслуговування та ремонту тракторів New Holland на мобільних ремонтних пунктах необхідний повний набір інструментів та обладнання. Основні ручні інструменти, сучасне діагностичне обладнання та надійні аксесуари безпеки є основою успішної роботи мобільних ремонтних служб. Переконавшись, що техніки оснащені цими інструментами, вони можуть ефективно вирішувати будь-які механічні проблеми, що виникають, тим самим мінімізуючи час простою для фермерів і підрядників. Оскільки сільськогосподарська техніка продовжує розвиватися, потреба в добре обладнаних мобільних пунктах ремонту залишатиметься критичною для підтримки сільськогосподарського співтовариства, дозволяючи їм підтримувати продуктивність і ефективність у своїй діяльності.

Проілюстровано варіанти планування обладнання.

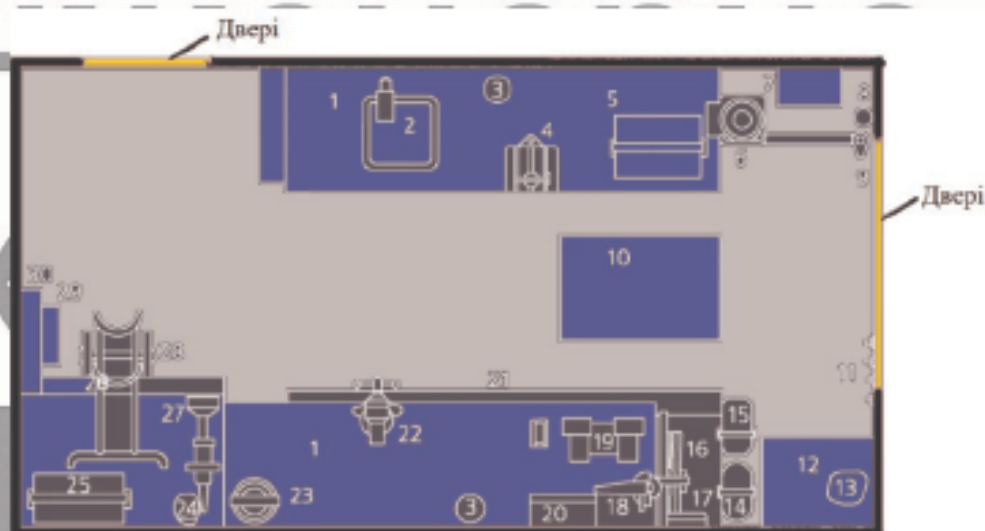


Рисунок 1.4 – Типове розташування обладнання та інструментів в кузові мобільної майстерні

1.4 Висновки по розділу 1

Метою представленої роботи є технічне обґрунтування вдосконалення технічного забезпечення мобільних пунктів ремонту та технічного обслуговування тракторів New Holland.

Об'єкт дослідження – технологічні методи виконання ремонту та ТО тракторів New Holland та відновлення поверхонь деталей сільськогосподарської техніки в польових умовах.

Предмет дослідження – технологічний процес ТО та ремонту тракторів New Holland в польових умовах сільськогосподарського підприємства.



Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ

Розділ 2 Вдосконалення технічного забезпечення мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland

2.1 Технологічний процес відновлення типових несправностей для трактора New Holland

На рисунку 2.1 представлено наслідки тривалого механічного зношування, що супроводжувалося формуванням глибокого механічного зносу та задирів на посадочних місцях опори ведучого мосту по всьому діаметру осі.

Реставація балансира трактора виконується на місця поломки, тобто в полі в наступній послідовності:

Детально вивчаємо наявну конструкторську документацію

Проводиться підготовка та налаштування пересувного свердлильного пристосування та його встановлення на місці обробки на тракторі

Попереднє чорнове розточування зношеного місця з метою видалення ушкодженого матеріалу та підготовки технологічної бази для наступного наплавлення для компенсації зношеного матеріалу.

Ручне наплавлення попередньо розточеного отвору для компенсації зношеного матеріалу спеціально підібраним матеріалом.

Остаточне чистове розточування отвору під вісь балансира з дотриманням заводського розміру.





Рисунок 2.1 – Технологічний процес проведення ремонтних робіт балансиру трактора New Holland

Необхідно провести ремонт цапф переднього кронштейна трактора New Holland, який втратив свою працездатність в наслідок глибокого механічного зносу та ушкодження двох отворів для кріпильних деталей, утворених на передній поверхні деталі «Кронштейн» (опорна цапфа)

Завдання: виконати відновлення опор ведучого моста трактора New Holland, забезпечивши при цьому заводські розміри, щоб можна було використовувати стандартні запасні комплектуючі.

Під час виконання цього рмонту цапф деталі «Передній кронштейн» ведучого моста плануємо використовувати технологію розточування та наступного наплавлення, яку реалізуємо в наступній послідовності:

- Детально вивчаємо наявну проектну документацію;
 - Ми заклали технічну основу для наплавлення через свердління по зовнішньому діаметру;
 - Заповнюємо пошкоджені кріпильні отвори спеціально підібраними матеріалами і приварюємо сидіння;
 - Потім на координатно-розточувальному верстаті обробити опорну цапфу до заводських розмірів і просвердлити два монтажних отвори;
- Для остаточної обробки опорних цапф та отримання заводських розмірів відновлених поверхонь використовуємо координатно-розточувальний верстат





2.2 Особливості застосування методу електроіскрового легування під час ремонту тракторів New Holland

Технічне обслуговування та відновлення сільськогосподарської техніки є критично важливими для забезпечення ефективності та довговічності в полі. Серед різноманітних методів, що використовуються для відновлення поверхонь, метод електроіскрового легування (ESA) набув популярності завдяки своїй ефективності в омолодженні зношених поверхонь, особливо у важкому обладнанні, як-от трактори New Holland. У цьому есе розглядатиметься метод електроіскрового легування, досліджуватиметься його історичний контекст і принципи, переваги, які він пропонує для деталей тракторів New Holland, а також тематичні дослідження, які ілюструють його практичне застосування та ефективність.

Метод електроіскрового легування визначається як метод модифікації поверхні, який використовує електричні розряди для осадження матеріалів сплаву на підкладку. Цей процес передбачає генерування серії іскор високої напруги між електродом і поверхнею матеріалу, що призводить до локального плавлення та затвердіння легуючого матеріалу, який утворює міцний

металургійний зв'язок із підкладкою. Історично ESA еволюціонувало з моменту свого створення в середині 20-го століття, знаходячи застосування в різних галузях промисловості, таких як аерокосмічна промисловість, автомобільна промисловість і важке машинобудування. Порівняно з традиційними методами відновлення поверхні, такими як зварювання або термічне напилення, ESA пропонує кілька переваг, включаючи можливість створення тонкої мікроструктури, що підвищує твердість поверхні та зносостійкість. Крім того, на відміну від зварювання, яке може спричинити термічні напруги та спотворити основний матеріал, ESA працює при нижчих температурах, таким чином зберігаючи цілісність оригінального компонента та зменшуючи ймовірність розтріскування чи викривлення.

Використання методу електроіскрового легування для відновлення деталей тракторів New Holland має безліч переваг, головними з яких є підвищена зносостійкість і довговічність відновлених поверхонь. Відомо, що шари сплаву, виготовлені за допомогою ESA, підвищують твердість оброблених ділянок, ефективно подовжуючи термін служби компонентів, які піддаються важким умовам експлуатації, таким як оранка та обробка землі. Крім того, ESA є економічно ефективним з точки зору використання матеріалів; метод дозволяє вибірково осаджувати матеріали там, де це необхідно, зводячи до мінімуму відходи та гарантуючи, що зусилля з відновлення принесуть значну віддачу від інвестицій. Цей підхід додатково сприяє скороченню часу простою, пов'язаного з ремонтом і обслуговуванням, оскільки швидкість процесу ESA може значно скоротити час, необхідний для відновлення деталей, порівняно з традиційними методами. Наприклад, дослідження, пов'язане з відновленням зношених гідравлічних циліндрів на тракторах New Holland, продемонструвало скорочення часу ремонту до 50%, дозволяючи фермерам підтримувати продуктивність під час критичних сезонів посіву та збору врожаю.

Кілька практичних прикладів демонструють успішне застосування методу електроіскрового легування для відновлення окремих компонентів

трактора New Holland. Одним із помітних прикладів є відновлення корпусу коробки передач, де знос призвів до неефективності роботи. Оцінки після відновлення показали помітне покращення продуктивності коробки передач, причому оператори відзначили більш плавну роботу та зменшення кількості поломок. Відгуки операторів і техніків переважно підтверджують ефективність ESA, підкреслюючи не тільки покращені показники продуктивності, але й легкість впровадження в існуючі процедури технічного обслуговування. Крім того, довговічність відновлених поверхонь підтверджено ретельними випробуваннями, які демонструють, що компоненти, оброблені ESA, можуть витримувати значно більші експлуатаційні навантаження порівняно з компонентами, відремонтованими з використанням звичайних методів. Ця петля зворотного зв'язку між покращенням продуктивності та задоволеністю оператора підкреслює потенціал електроіскрового легування як трансформаційного методу для відновлення поверхні в сільськогосподарському секторі.

Метод електроіскрового легування є переконливим рішенням для відновлення зношених поверхонь деталей тракторів New Holland, пропонуючи значні переваги перед традиційними методами відновлення. Забезпечуючи підвищену зносостійкість, економічну ефективність і скорочений час простою, ESA виділяється як цінний актив у наборі інструментів для обслуговування сільськогосподарської техніки. Дані історичних прикладних програм і сучасних прикладів підтверджують її ефективність, демонструючи, як ця інноваційна технологія може сприяти підвищенню ефективності роботи та довговічності критично важливого обладнання. Оскільки сільськогосподарський сектор продовжує розвиватися, інтеграція передових методів відновлення, таких як електроіскрове легування, буде важливою для задоволення вимог сучасної практики ведення сільського господарства.

Електроіскрове легування - це ефективний метод зміни хімічного складу, стану структурної фази та властивостей поверхневих шарів, заснований на використанні концентрованих потоків електрики під час

розрядів імпульсів у середовищі між електродами та полярному перенесенні анодного матеріалу на поверхню катода (деталі). EIL - це недорогий, недорогий і мобільний інструмент для формування поверхневого шару базується на принципі Шарпі, згідно з яким для забезпечення високої вантажопідйомності шар робочої поверхні повинен мати міцну пластичну основу.

Нові можливості відкривають методи, засновані на використанні концентрованих потоків енергії та речовин, зокрема потоків, що генеруються електроіскровим розрядом. Метод електроіскрового легування (EIL) має наступні переваги: висока адгезія покриття з основним матеріалом; відсутність об'ємного нагріву та деформацій виробу в процесі обробки; можливість використання в якості електродів різних струмопровідних матеріалів; простота технології, яка не вимагає спеціальної попередньої обробки поверхні; низька енергоємність ручних і механізованих процесів; високий коефіцієнт перенесення матеріалу; дешевизна. Низька енергоємність EIL призводить до низьких залишкових напружень і малої зони термічного впливу, а коротка тривалість імпульсу — до високої швидкості охолодження матеріалу (від 10^5 до 10^6 K/c). До того ж, метод EIL є екологічно безпечним. Висока швидкість процесу кристалізації сприяє формуванню однорідної структури нанесеного шару, від якого варто очікувати високих корозійних та трибологічних властивостей.

Електричний струм у газах – газовий розряд – складне фізико-хімічне явище, значно відмінне від потоку в твердих і рідких провідниках. У звичайних умовах при нормальній температурі й тиску в газі (повітряне середовище) дуже мало вільних заряджених частинок: іонів, електронів, тому повітря (звичайне) зазвичай поводить себе як ізолятор. Однак під дією різних фізико-хімічних чинників (факторів високої температури, сильного електричного поля, ультрафіолетового випромінювання тощо) в повітряному середовищі з'являються вільні електрони, додатні і від'ємні іони, присутність яких надає газу властивості електропровідності. Процес виникнення

електронів у нейтральному середовищі називається його іонізацією. Для того, щоб у газі міг проходити струм провідності пов'язаний з переносом заряду, заряджені частинки повинні утворюватися в газі шляхом руйнування нейтральних атомів і молекул, або поступати в газ ззовні – з оточуючих газ твердих і рідких тіл, або газових сумішей.

Процедура електроіскрового легування починається при наближенні електродів інструменту до поверхні оброблюваної деталі, відстань між електродами та точкою проколу менше або дорівнює відстані між поверхнею деталі та горловиною інструменту. У результаті відбувається розряд електрики, після чого зазвичай відбувається контакт між електродами та деталлю. Модель ЕІЛ спрощено може бути представлена в наступному вигляді (рис.2.3).

Зустріч електродів сприяє напруженості електричного поля. Для виникнення розряду необхідна певна відстань між електродами. Електронний промінь перетинає тверду металеву поверхню анода, проходячи через канал, утворений провідною поверхнею (рис. 2.3а).

Кінетична енергія електронів виділяється на поверхневому шарі анода в зупиненому стані. Через раптове вивільнення накопиченої енергії щільність струму значно перевищує критичне значення. Таким чином, краплі розплавленого металу відокремлюються від анода та рухаються до катода перед мігруючим анодом (рис. 2.3b).

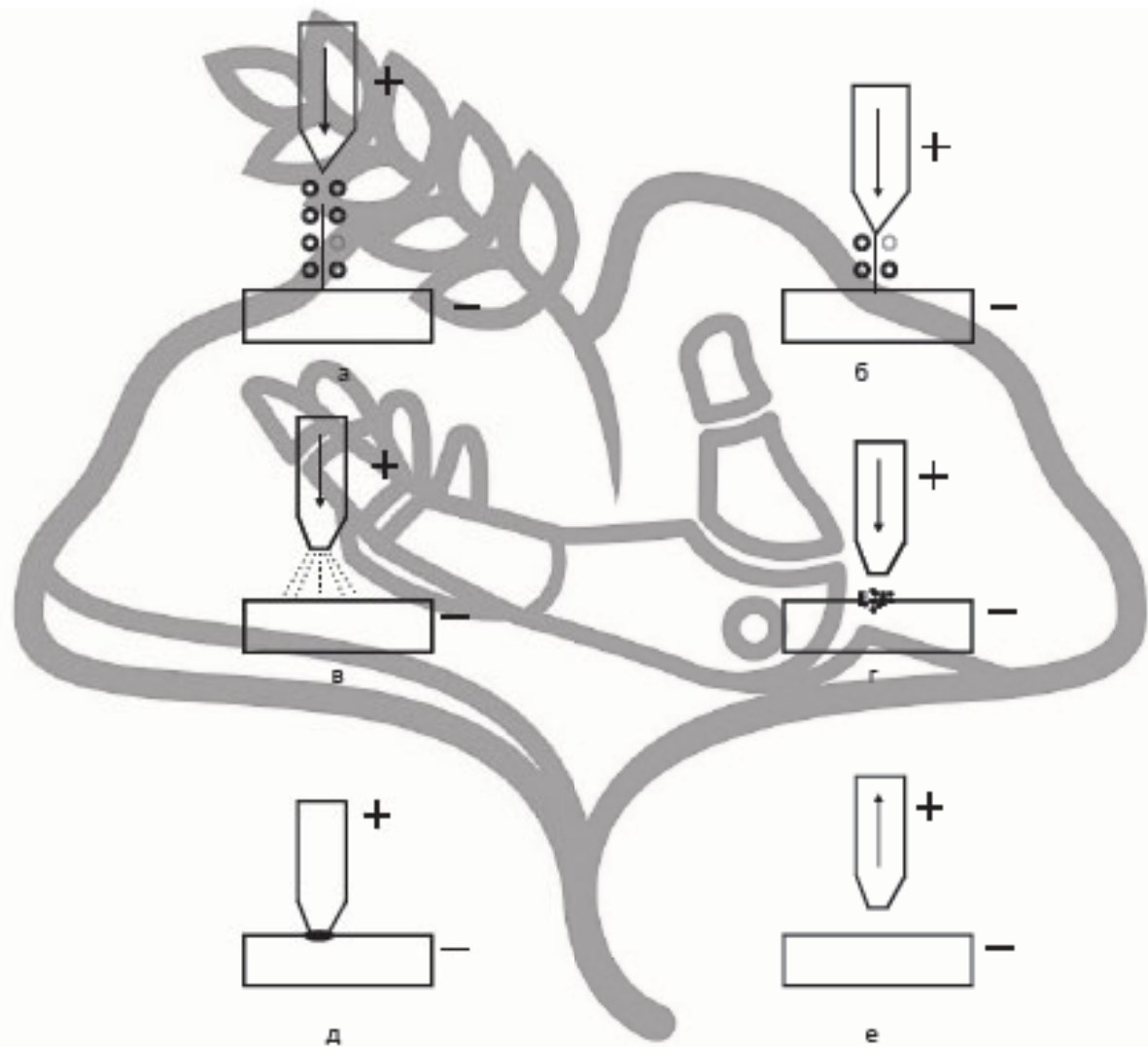


Рисунок 2.3 – Спрощена модель процесу електроіскрового легування

Під час процесу відділення анода температура польоту знижується до високої температури, що дозволяє відбутися «кипіння» або «вибух». Поточний шлях покинутий. Коли перепад тиску електромагнітного поля зводиться до нуля, частинки, що утворюються, розширюються по широкому сліду (рис. 2.3с). Перегріті краплі та частинки перебували в контакті з газом (навколишнім середовищем) і можуть відрізнятись за складом або властивостями від вихідного матеріалу анода.

Частинки, які розплавлені на катоді, зв'язані з ним і частково покривають його поверхню (рис. 2.3d). За частинками йдуть електроди, які підключені до успішних систем зберігання енергії. Через гарячі частинки на катоді проходить друга хвиля струму, що супроводжується механічним ударом

рухомого анода (катода). На наступному етапі, коли електроди знаходяться у фізичному контакті, частинки об'єднуються і тонкий шар поверхні катода нагрівається.

Одночасно відбувається взаємодія між осадженими частинками та матеріалом катода, а також рух маси внаслідок дифузії, коли електричний струм тече всередині катода. Прикладення механічної сили електродом до нагрітого матеріалу призводить до утворення покриття (рис. 2.1 ж), що значно підвищує його рівність і компактність. Згодом анод піднімають, залишаючи міцно зв'язаний шар анодного матеріалу на поверхні катода (рис. 2.1 д).

У наданому загальному плані процесу є конкретні аспекти, які потребують роз'яснення. Коли електроди зближуються, вони генерують електричний розряд, який швидко підвищує температуру простору між ними, що призводить до утворення фази плазмового розряду. Ця фаза дозволяє матеріалу існувати в іонізованому стані. Крім того, частинки матеріалу викидаються з анода і стикаються з поверхнею катода, змушуючи їх прилипати одна до одної. Деформація розплавленого металу та наявність електродинамічних сил усередині мікротрещини призводять до утворення вм'ятин на поверхні катода.

Утворення шару покриття визначається гальванічною корозійною стійкістю матеріалу електрода та енергією імпульсу, які, у свою чергу, впливають на розмір отвору та кількість зміщеного матеріалу. Матеріал мікротрещини та частинки анода поєднуються, щоб створити цей шар покриття.

Незважаючи на коротку тривалість кожного імпульсу, низьку температуру на катоді і швидке охолодження поверхневого шару, в поверхневому шарі катода все ж можуть відбуватися дифузійні процеси. Утворення дифузійного шару є результатом дії інтенсивних електричних полів, створюваних швидким нагріванням і високим тиском у розрядному каналі в місці його виникнення, а також повторюваних монополярних і імпульсних дій [20, 47]. Крім того, мікрохвильові матеріали також взаємодіють з елементами навколишнього середовища, що призводить до

значних відмінностей у складі та фізико-хімічних властивостях шару порівняно з легованими та нелегованими матеріалами [20].

Руйнування електродів є значним наслідком іскрового розряду. Характеристики і довговічність електродів істотно впливають на товщину і якість шару, що утворюється на катоді. Більшість матеріалів накладають обмеження на максимальну досяжну товщину шару на катоді. Було запропоновано, що процес EIL, замість ерозії та вивільнення, поступово сповільнює та зупиняє осадження матеріалу анода з часом [47]. Це в першу чергу пов'язано з утворенням оксидів і нітридів усередині шару, що перешкоджає взаємодії між шойно нанесеним анодним матеріалом і раніше нанесеним матеріалом, що призводить до розтріскування та подальшого руйнування шару. Інколи обмеження товщини утвореного шару пов'язане з крихкістю [36], спричиненою утворенням дрібних кристалічних структур під впливом імпульсних розрядів. Аналіз даних вимірювань приросту маси та залишкової напруги показує, що рівень залишкової напруги у сформованому шарі спочатку зростає до досягнення певного порогу, а потім зменшується зі збільшенням тривалості легування.

Більшість установок EIL використовують схеми, які включають ємнісні накопичувачі енергії та електромеханічні компоненти для завершення схеми розряду. Для закріплення анода електрода зазвичай використовується звичайний електромагнітний вібратор. Цей вібратор сприяє перемиканню міжелектродного проміжку за рахунок вібрації анода. В результаті анод коливається з частотою від 50 до 400 Гц і періодично контактує з поверхнею катода. Більшість сучасних установок EIL дотримуються цього усталеного підходу.

Принципову конструкцію типової установки EIL [20] зображено на рис. 2.3 зі спрощеною схемою встановлення.

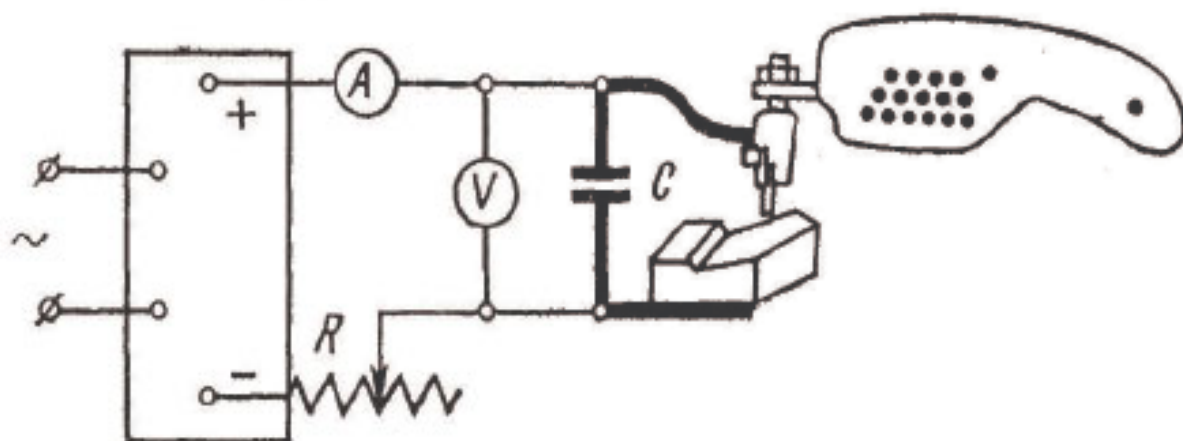


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема обладнання для ЕЛЛ

Велику популярність у ремонтній промисловості завоювали моделі переносних установок «ЕЛЛ-8А», «Елітрон-22А» (рис. 2.4) та «Елітрон-52А» (рис. 2.5), оснащені ручним вібратором. Ці моделі, хоч і схожі за дизайном, пропонують широкий вибір режимів роботи. Ці установки не тільки компактні та малі, але й портативні, що робить їх придатними для використання в будь-якому виробничому середовищі.



а



б

Рисунок 2.4 – Установки «ЕЛЛ-8А» (а) та «Елітрон-22А» (б), призначені для чистового легування

факультет
СНАУ



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд установки «Елітрон-52А»

Помітним недоліком є продуктивність установок ЕЛІ з ручними вібраторами, оскільки вона може досягати лише $6 \text{ см}^2/\text{хв}$. Цей обмежений рівень продуктивності не завжди може бути достатнім для роботи з більшими компонентами. Щоб підвищити продуктивність процесу EEL, було вжито різноманітні ініціативи, що призвело до розробки різноманітних продуктів.

Конструкція та геометрія електродів охоплює різноманітні елементи, такі як дроти, щітки, фіксовані та гнучкі кріплення, а також обертові багатоелектродні головки, серед іншого.

факультет
СНАУ

2.3 Дослідження закономірностей формування методом ЕІЛ відновлених шарів деталей при відновленні

Метод ЕІЛ привернув значну увагу завдяки своїй здатності покращувати та відновлювати зношені поверхні. Цей метод широко використовується в різних галузях промисловості для підвищення довговічності та твердості компонентів машин, особливо тих, які піддаються впливу високих температур і жорстких умов. Крім того, він ефективно підвищує стійкість до тепла та корозії, що робить його цінним інструментом для відновлення зношених деталей машин та інших подібних застосувань.

Хоча метод ЕІЛ позитивно впливає на зносостійкість поверхневого шару, недоліки, пов'язані з цією технологією, часто обмежують її застосування до різних частин машин. Ці недоліки охоплюють зменшення шорсткості поверхні після ЕІЛ, нерівномірне покращення поверхні, несприятливий вплив ерозійного розряду на втомні властивості виробів тощо.

Навпаки, поверхнева пластична деформація (ППД) служить високоефективним методом для підвищення поверхневої міцності матеріалів, усуваючи недоліки, пов'язані з ЕІЛ. Зважаючи на це, наше дослідження було зосереджено на визначенні ключових взаємозв'язків між якістю поверхневих шарів і технологічними параметрами як ЕІЛ, так і РРД. На основі цих висновків ми розробили комплексний підхід до зміцнення та ремонту сильно навантажених компонентів, включаючи вали.

ЕІЛ здійснювалося на установках із ручним вібратором моделі «ЕІЛ-8А». Ерозія анода та приріст ваги катода вимірювалися на аналітичних вагах "ВЛА-200" з точністю до 0,0001г. Шорсткість визначали на приладі профілактограф-профілометр мод. 201 заводу "Калібр".

Матеріали, що застосовуються для дослідження, поділяються на матеріали для катода (деталі) та матеріали для анода (легуючого електрода).

Основний матеріал катода - сталь 45 як найпоширеніша і є класичним представником конструкційних сталей для виготовлення деталей машин. Ця

конструкційна середньовуглецева нелегована сталь застосовувалася для досліджень у покращеному стані з твердістю основи HB 280 та сорбітною структурою.

Як анод використовувалися чисті метали, графіт марки ЕГ-4 і тверді сплави ВК8 та Т15К6.

Для досліджень впливу ППД на властивості поверхневого шару виготовляли круглі зразки $D_{нар}=50\text{мм}$ $L=200-250\text{ мм}$, по всій поверхні яких проводилося ЕЕЛ. Потім на кожному зразку проводилося ППД обкаткою кулькою (ЗШ) за різними режимами. Кожному режиму відповідала доріжка завширшки 10-15 мм. Після зміцнення ППД кожного зразка з кожної доріжки вирізалися сегменти і виготовлялися шліфи для дослідження структури зміцненого шару.

Металографічні дослідження, дюрOMETричний аналіз, визначення втомної міцності зразків, дослідження величини та знаку залишкових напруг у сформованих поверхневих шарах проводилися за відомими методиками та на стандартному обладнанні.

2.4 Дослідження комбінованих електроерозійних покриттів

З метою розробки технології нанесення комбінованих електроерозійних покриттів були виконані експериментальні дослідження ЕЕЛ сталевих підкладок електродами з твердих зносостійких і м'яких антифрикційних матеріалів, нанесених в різній послідовності.

При ЕЕЛ стали 45 тугоплавкими зносостійкими металами Ti, V, W та їх карбідами, а також легкоплавкими металами Cd, In, Sn, Pb

- вихідна шорсткість зразків $Ra=0,235\text{ мкм}$ після нанесення покриття Ti, V, W збільшується відповідно до 2,821, 3,227 та 3,248 мкм;
- при подальшій обробці електродом одного з легкоплавких металів шорсткість поверхні незначно змінюється;
- при нанесенні спочатку як технологічне покриття одного з легкоплавких металів (Cd, In, Sn, Pb) з подальшим нанесенням основного покриття з

тугоплавкого зносостійкого металу спостерігається різке зниження шорсткості поверхні до $Ra=0,53-0,92$ мкм.

Аналогічні результати зниження шорсткості забезпечуються і тоді, коли як технологічне покриття використовується м'який, антифрикційний метал – мідь.

У процесі створення складного електроіскрового покриття шари формуються в певному порядку, що сприяє оплавленню вихідного технологічного покриття з металу з нижчою температурою плавлення. Потім цей розплавлений метал заповнює грубі ділянки та пори основного покриття. Другий шар кристалізується з меншою швидкістю через тепло, накопичене розплавленим металом. В результаті утворюється структура покриття, що нагадує механічну суміш.

При використанні як технологічне покриття сурми виділяються високотоксичні гази, тому така технологія не може бути рекомендована до застосування.

До практичного застосування можна рекомендувати спосіб формування комбінованих електроерозійних покриттів, коли спочатку на поверхню, що зміцнюється, на «м'яких» режимах наносять технологічне покриття металом, обраним з групи (In, Cd, Sn, Pb, Cu), а потім на «середніх» режимах - основне покриття, вибране із групи тугоплавких зносостійких металів (Ti, V, W) та їх карбідів.

Для вивчення рельєфу та складу поверхневих шарів, зразків із КЕП використовувалася растровий електронний мікроскоп – мікроаналізатор РЕММА-102 виробництва "СЕЛМІ". Досліджувалися три серії зразків із заліза Армко, сталі 45 та 12Х18Н10Т, попередньо легованих на 3-му режимі ($J_{кз}=0,50-0,60$ А; $U_{х.х}=37,5$ В; $C=20$ мкФ) установки "УЛІВ-8" міддю з наступним ЕЕЛ на 5-му режимі ($J_{кз}=2,1-2,3$ А; $U_{х.х}=67,3$ В; $C=300$ мкФ) твердим сплавом ВК8.

Топографія поверхні зразків з КЕП досліджувалась за зображенням у вторинних електронах при різних збільшеннях. Типова картина представлена

на рис. 2.6.

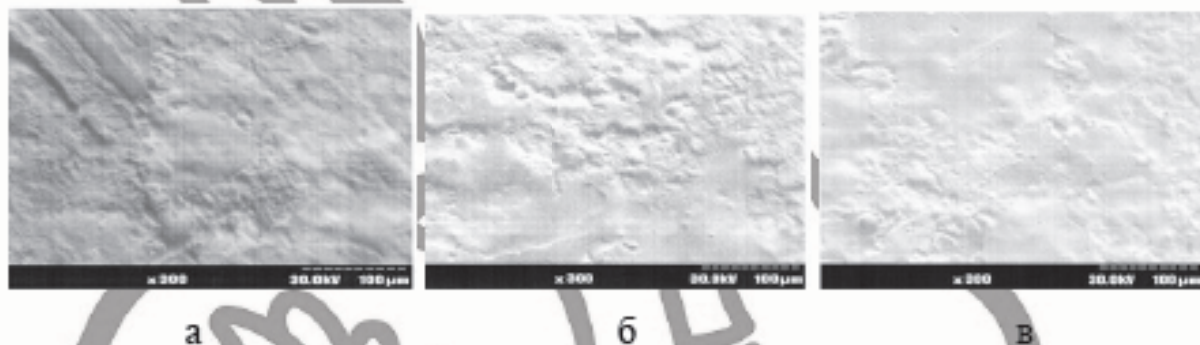


Рисунок 2.6 - Зображення у вторинних електронах (РЕММА-102) поверхонь зразків на підкладці із сталі Армко (а), сталі 45 (б) та сталі 12Х18Н10Т (в)

На всіх зображеннях рельєф поверхні шару має згладженіший вигляд. Це відбувається за рахунок того, що при нанесенні другого шару тепло розплавленого металу, як анода, так і катода, акумулюється легкоплавким металом, нанесеним спочатку на поверхню катода (в даному випадку міддю), і сприяє більшому розтіканню рідкого металу по поверхні катода. Крім того, мідь сама, розплавляючись і розтікаючись вдруге при нанесенні другого шару більш тугоплавкого матеріалу, заповнює мікронерівності, мікропори, пропуски та інші мікродефекти, властиві одношаровим покриттям з твердих зносостійких матеріалів. Звідси й менша шорсткість КЕП проти одношаровими.

Спектри ділянок поверхні покриття знімалися спектрометром енергетичної дисперсії при прискорювальній напрузі 30кВ та електронно-оптичному збільшенні 300 крат. При цьому розмір ділянки поверхні, якою сканував електронний промінь, становив 540×540 мкм. Механізм розподілу елементів у поверхневому шарі зразків з КЕП ідентичний їх розподілу в одношарових покриттях. Як у першому, так і у другому випадках на поверхні покриття присутні елементи анода (першого та другого шарів) та катода, про що свідчить характеристичний рентгенівський спектр елементів: W, Cu, Fe (рис. 2.7). Графік розподілу елементів за профілем зразка сталі 45 в площині, перпендикулярній покриттю, представлений на рис. 2.8. Профіль задавався

так, щоб початкова (остання) точка потрапляла за кромку зразка, а остання (початкова) – на матеріал підкладки.

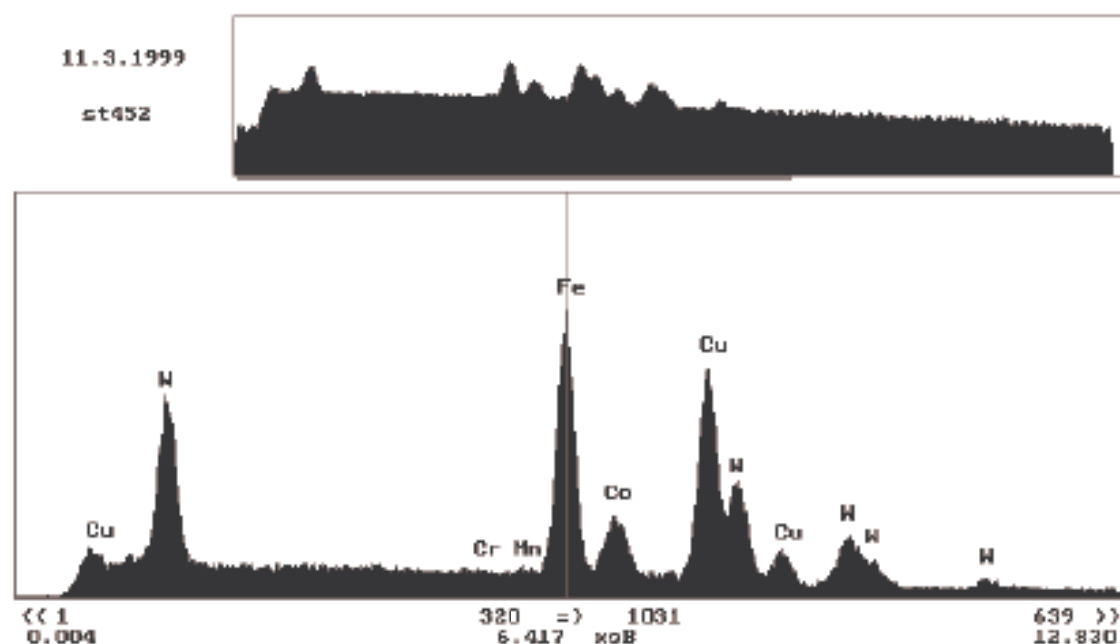


Рисунок 2.7 - Спектр ділянки покриття на підкладці із сталі 45

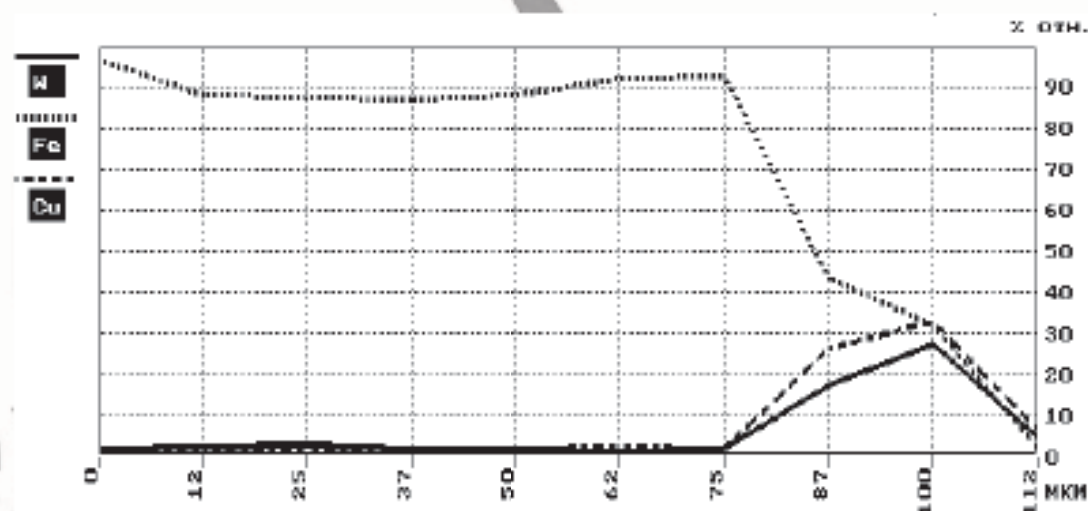


Рисунок 2.8 - Профіль, перпендикулярний до поверхні покриття на підкладці сталь 45

Розподіл елементів по глибині шарів з переходом до основи показує спад концентрації основного елемента другого шару вольфраму і зростання концентрації міді з досягненням максимуму на глибину $\sim 2/3$ глибини

загального шару з наступним зменшенням.

На мікротвердість КЕП в першу чергу впливає кількість легкоплавкого матеріалу в технологічному підшарі. Для вивчення впливу кількості м'якої складової на мікротвердість поверхневого шару були проведені металографічні дослідження з використанням міді як технологічного підшару (рис. 2.9).

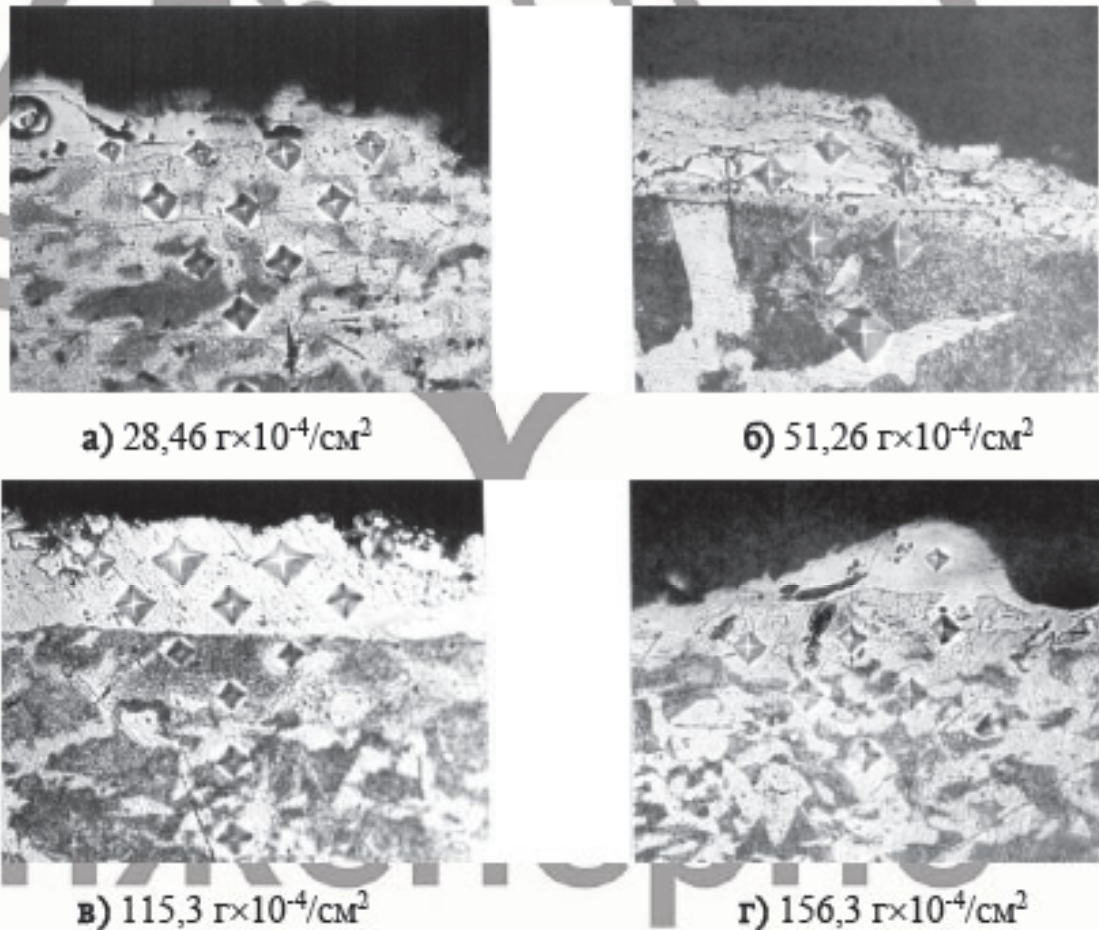


Рисунок 2.9 – Зображення мікроструктур поверхневих шарів зразків зі сталі 45 з різним вмістом міді у покритті, $\times 400$

Оптимальне поєднання шорсткості та мікротвердості в поверхневому шарі досягається ф підшару міді методом КЕП в 3-му режимі, з наступним основним покриттям з твердого сплаву ВК8 в 5 режимі. Для орієнтиру зразок сталі 45 обробили КЕП у тих самих умовах, але з послідовністю твердий сплав ВК8+Cu (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Зображення мікроструктури поверхневого шару сталі 45 з КЕП VK8+Cu

При первинному нанесенні терmostійкого покриття з наступним шаром міді утворюється поверхневий шар з мікротвердістю $HV=2300-2500$ МПа. Цей шар поширюється на глибину до 30 мкм. Зі збільшенням глибини наступний шар товщиною 5-10 мкм має більш високу мікротвердість ($HV=8100-12400$ МПа), а потім перехідна зона з мікротвердістю $HV=3350-4350$ МПа. Іноді на поверхні покриття зустрічаються ділянки з підвищеною мікротвердістю (до $HV=11600$ МПа), що, ймовірно, відповідає мікротвердості піків попередньо нанесеного твёрдосплавного покриття VK8. Шорсткість отриманих КЕП, сформованих методом VK8+Cu, досягає 2,40 мкм.

Для підвищення мікротвердості та мінімізації шорсткості поверхні в процесі зміцнення деталей рекомендується спочатку наносити «технологічне» покриття, що складається з м'якого, антифрикційного металу, наприклад міді, з подальшим шаром міцного, зносостійкого, стійкий метал або його карбід, вибраний із групи Ti, V, W. Крім того, на 3-му режимі наноситься мідь, а на 5-му – зносостійкий метал високої твердості.

Запропонованим методом металографічного аналізу встановлено, що КЕП має відносно високий рівень мікротвердості в діапазоні від 8100 до 12400 МПа. Важливо відзначити, що на поверхні покриття є мідна плівка розміром 1-2 мікрона. Усі покриття, отримані за допомогою запропонованого підходу, мають чіткий жовтий відтінок. Рентгеноструктурний аналіз свідчить про наявність міді як на поверхні, так і в глибині покриття.

З метою розширення області застосування, а також поліпшення якісних характеристик поверхневих шарів досліджувалися псевдо багат шарові КЕП, сформовані за схемою ВК8+Cu+ВК8, при цьому перший шар із твердого сплаву ВК8 наносився для всіх випадків на 5-му режимі, а другий (мідь) та третій (твердий сплав ВК8) - на різних режимах. Мікроструктура поверхневих шарів сталі 45 з псевдо багат шарові КЕП зображена на рис. 2.11.

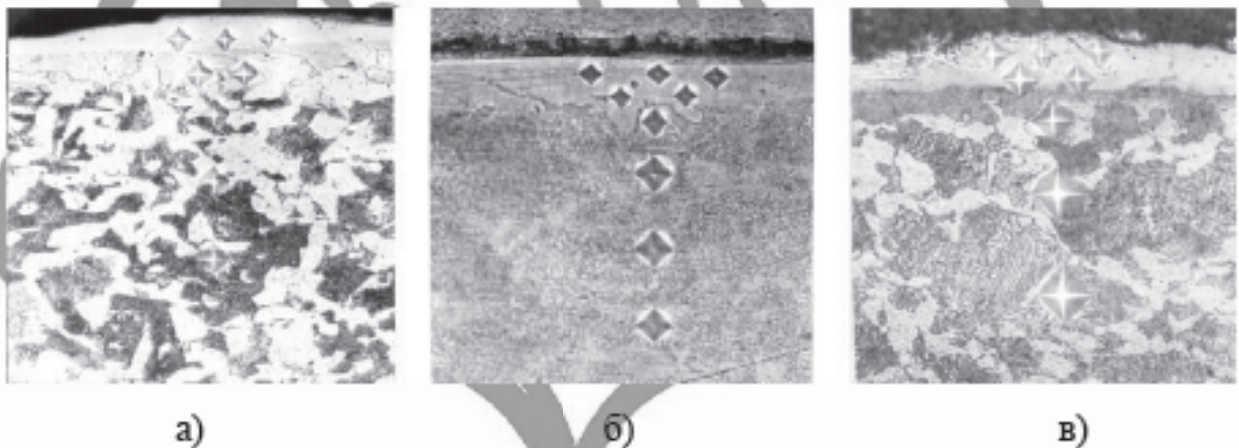


Рисунок 2.11 – Зображення мікроструктури поверхневих шарів сталі 45, сформованих в послідовності ВК8+Cu+ВК8

Якість квазімног шарових КЕП висока. Мікротвердість поверхнього шару становить 6420-8740 МПа, шорсткість низька ($Ra=0,5$ мкм), різкі перепади мікротвердості в перехідній зоні відсутні. Найбільш переважним є КЕП, коли перший та останній шари з твердого сплаву ВК8 наносилися на 5-му режимі, а проміжний (мідь) – на 3-му режимі.

2.5 ППД електроерозійних покриттів

З метою підвищення якості поверхневих шарів деталей досліджувався вплив ППД на ЕЕЛ шари різної твердості та складу.

При ППД ЕЕЛ шарів із твердих зносостійких матеріалів сферичний індентор вминає твердий «білий» шар більш м'який перехідний підшар, зміцнюючи при цьому останній. «Білий» шар служить передатною ланкою, збільшуючи радіус впливу індентора на величину, що дорівнює товщині

«білого» шару ($2/3\Delta h_c$). Радіус валу збільшується при цьому на $1/3\Delta h_c$.

При ЕЕЛ м'якими антифрикційними матеріалами величина радіусу сферичного індентора залишається без змін, а радіус валу збільшується на Δh_c . Деформування у цьому випадку піддаються як м'який поверхневий шар, так і перехідний підшар.

КЕП, залежно від послідовності нанесення твердих та м'яких матеріалів, можуть мати високу та низьку мікротвердість як на поверхні, так і в міру поглиблення. Тому механізм їх зміцнення ППД може бути ідентичний у першому випадку зміцненню покриттів з зносостійких твердих, а в другому - з м'яких антифрикційних матеріалів.

Дослідження мікротвердості покриттів з м'яких антифрикційних металів показує, що збільшення питомого зусилля деформації ЗШ поряд зі зниженням шорсткості призводить до збільшення мікротвердості як у нанесеному шарі, так і в перехідному підшарі (рис. 2.12).

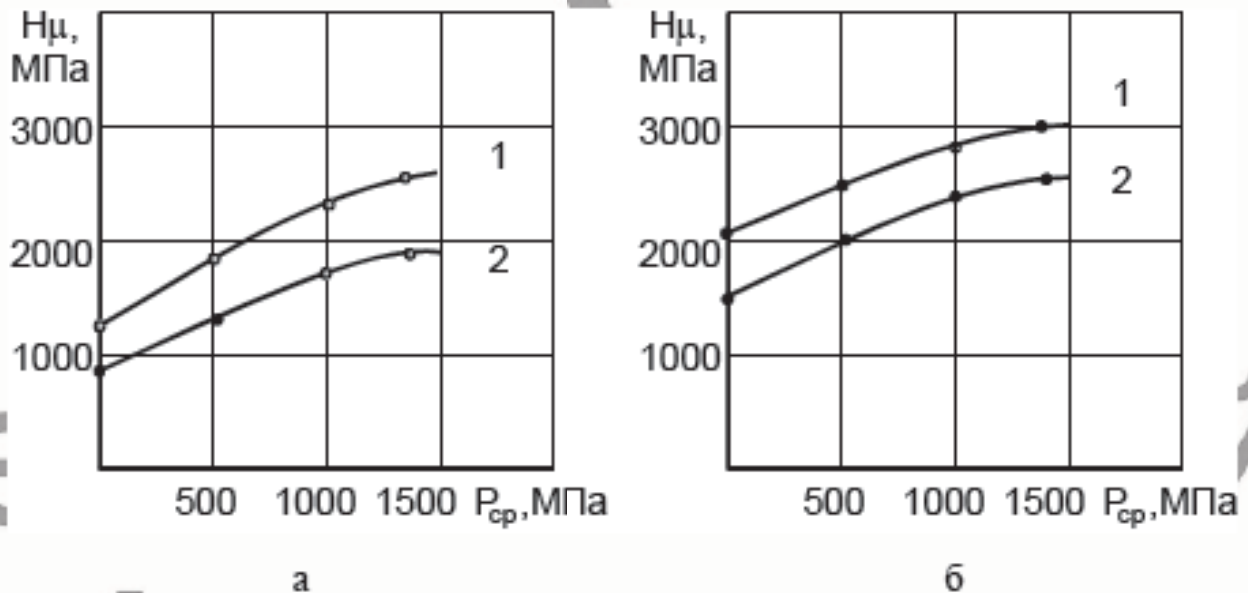


Рисунок 2.12 - Вплив питомого зусилля обкатки кулькою на мікротвердість шару (а) та підшару (б) зразків із сталі 45 ЕЕЛ міддю (1) та оловом (2)

У разі силового впливу ЗШ на КЕП, сформовані на установці з ручним вібратором «ЕЛЛ – 8А» і мають низьку вихідну шорсткість ($R_a=0,48-0,52$ мкм), практично всі точки залежності $R_a = f(P_{cp})$ укладаються однією прямою. Цей

факт свідчить, принаймні, про наявність загального механізму формування поверхні, суть якого насамперед полягає в комбінації двох процесів: деформації м'якої підкладки покриття та руйнуванні мікронерівностей.

Інша картина у разі силового впливу ЗШ на КЕП, сформовані на механізованій установці «ЕЛ-9» і мають вихідну шорсткість $Ra \geq 12$ мкм. В даному випадку КЕП можуть досягати по товщині 1 мм і більше, що поряд з високою шорсткістю та мікротвердістю вимагає великих питомих зусиль згладжування (рис. 2.13). Так, щоб знизити шорсткість КЕП, що складається з високоміцної нержавіючої сталі ВНС2 (08Х15Н5Д2Т) та міді, з $Ra=12$ мм до $Ra=1$ мм, необхідно докласти питомого зусилля ~ 3000 МПа.

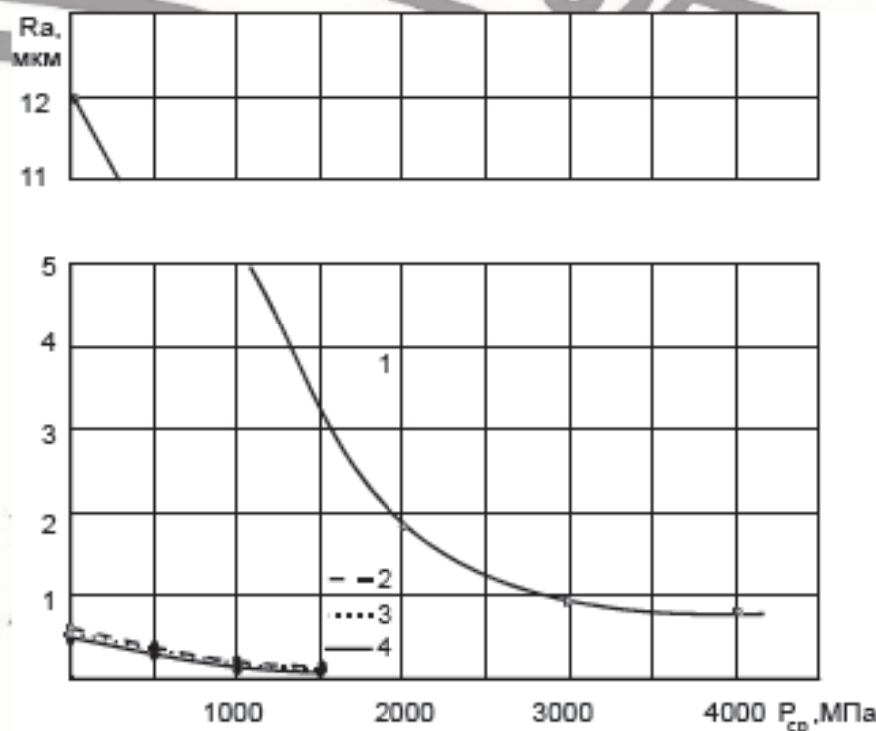


Рисунок 2.13 – Залежність шорсткості зразків з КЕП від питомого зусилля обкатки кулькою $\varnothing 19$ мм: 1 - сталь 40X, ВНС2+Cu+ВНС2; 2 - сталь 45,

Іп+ВК8; 3 - сталь 45, ВК8+Cu+ВК8; 4 - сталь 45, Cu+ВК8

Металографічними дослідженнями КЕП, сформованих на установці з ручним вібратором «ЕЛ – 8А», встановлено, що для отримання якісних поверхневих шарів необхідно використовувати питомі зусилля випрасування 1000–1300 МПа. Якщо мікротвердість поверхневого шару висока, наприклад,

КЕП складу Cu+BK8 ($H_u=10000$ МПа) або BK8+Cu+BK8 ($H_u=8000$ МПа), то сам шар не зміцнюється, а вминається в м'якший підшар, зміцнюючи останній. Інакше, якщо мікротвердість поверхневого шару не висока, наприклад, КЕП складу In+BK8 ($H_u=1970$ МПа), зміцнюється сам шар.

На рис. 2.14 зображено структуру сталі 40X після ЕЕЛ високоміцної нержавіючої сталі ВНС2 на механізованій установці «ЕЛ-9». З малюнка видно, що після одного проходу товщина шару досягає ~ 110 мкм, а після двох проходів ~ 170 мкм відповідно до малюнків 2.14 а і 2.14 б. Шорсткість (R_a) шару в обох випадках досягає 20 мкм і більше, а мікротвердість нанесеного шару становить ~ 4770 МПа. В даному випадку ЗОШ не призводить до бажаного результату, тому що в поверхневому шарі відбувається утворення тріщин, сколів, лущення. Мікротвердість на ділянках, що збереглися, 5100-5250 МПа (рис. 2.14 в).

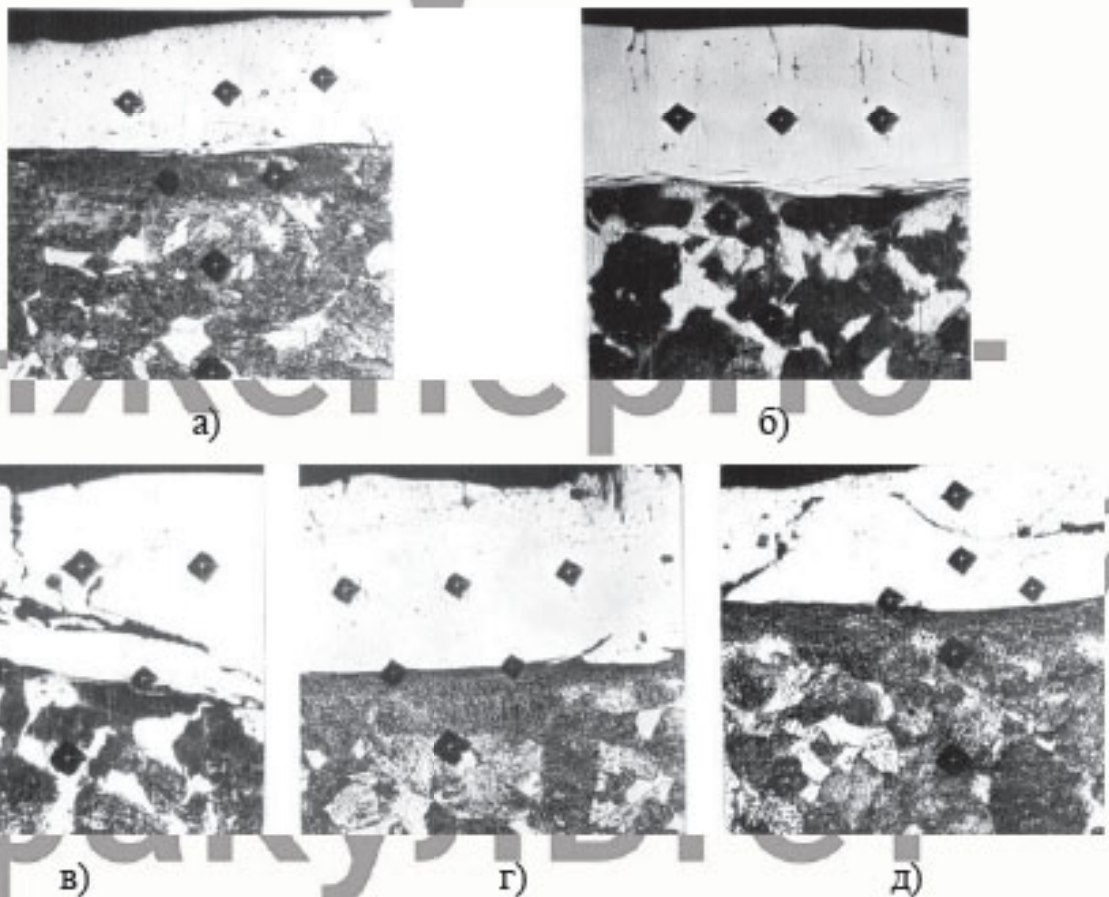


Рисунок 2.14 - Мікроструктура зразків із сталі 40X після ЕЕЛ на механізованій установці «ЕЛ-9» та ЗШ \varnothing 19 мм: а - ЕЕЛ, ВНС2, 1 прохід; б -

ЕЕЛ (ВНС2), 2 проходи; в - ЕЕЛ (ВНС2)+ЗШ ($P_{cp}=2000$ МПа); г - ЕЕЛ (ВНС2+Cu+ВНС2)+ЗШ ($P_{cp}=3000$ МПа); д - ЕЕЛ (ВНС2+Cu+ВНС2)+ЗШ ($P_{cp}=4000$ МПа) $\times 200$

При нанесенні КЕП, сформованих з ВНС2 і міді (ВНС2+Cu+ВНС2), шорсткість поверхневого шару знижується до $Ra=12$ мкм, а мікротвердість - до 3550 МПа. Обкатка кулькою ($P_{cp}=3100$ МПа) знижує шорсткість КЕП до $Ra=1,0$ мкм та підвищує мікротвердість до 4150 МПа. У поверхневому шарі починають зароджуватися мікротріщини із глибиною поширення до 30-40 мкм. При $P_{cp}=3100$ МПа мікротвердість у підшарі підвищується з 2560 до 3250 МПа (рис. 2.14 г). Перепади мікротвердості відсутні - відбувається її плавне зниження від поверхні до серцевини. Мікротріщини, що зароджуються, можна видалити, наприклад, наступним шліфуванням. Подальше збільшення питомого зусилля вигладжування до $P_{cp}=4100$ МПа призводить до руйнування шару (див. рис. 2.14 д).

Вплив питомого зусилля ЗШ на мікротвердість шару та підшару, зразків з КЕП показано відповідно на рисунках 2.15 та 2.16. З рис. 2.15 видно, що поверхневі шари, що мають на поверхні високу мікротвердість (11000 і 8000 МПа), відповідно для покриттів складу Cu+BK8 та BK8+Cu+BK8 зі збільшенням питомого зусилля ЗШ не змінюються.

Інженерно-технологічний факультет СНАУ

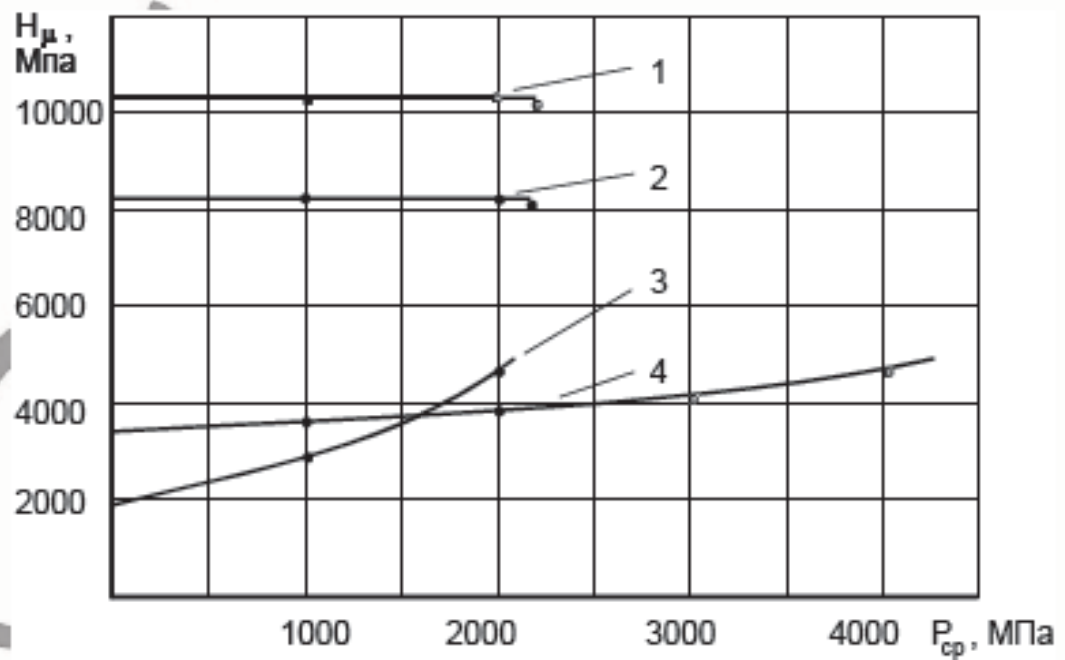


Рисунок 2.15 - Вплив питомого зусилля ЗІШ на мікротвердість поверхневого шару сталевих зразків з КЕП: 1 - сталь 45, ЕІЛ (Cu+BK8); 2 - сталь 45, ЕІЛ (BK8++Cu+BK8); 3 - сталь 45, ЕІЛ (In+BK8); 4 - сталь 40X, ЕІЛ (BHC2+Cu+BHC2)

Мікротвердість м'якшого КЕП складу BHC2+Cu+BHC2 (3550 МПа) зі збільшенням питомого зусилля ЗІШ до $P_{cp}=4100$ МПа відповідно збільшується до ~ 5100 МПа, але якість шару погіршується через виникнення мікротріщин. Найбільш раціональним є інтервал питомого зусилля ЗІШ 2550-3100 МПа.

Інженерно-технологічний факультет СНАУ

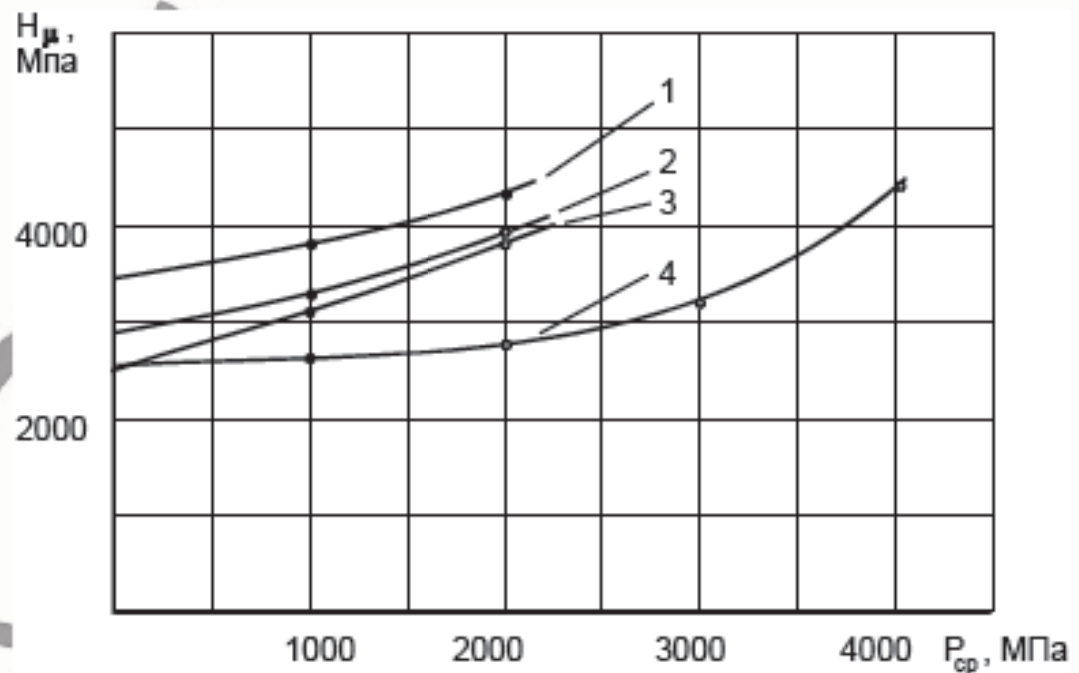


Рисунок 2.16 - Вплив питомого зусилля ЗШ на мікротвердість підшару сталевих зразків з KEП: 1 - сталь 45, EIL (In+BK8); 2 - сталь 45, EIL (BK8+Cu+BK8); 3 - сталь 45, EIL (Cu+BK8); 4 - сталь 40X, EIL (BHC2+Cu+BHC2)

Найбільше зміцнюються поверхневі шари з низьким опором деформації, наприклад KEП складу In+BK8 ($H_u=1970$ МПа). В даному випадку мікротвердість у поверхневому шарі досягає 5000 МПа при питомому зусиллі ЗШ $P_{cp}=2000$ МПа.

Мікротвердість у перехідному шарі (підшарі) для всіх KEП зростає, але різною мірою. Тут також існує закономірність - що нижча вихідна мікротвердість підшару KEП, то більше вписувалося резерви її підвищення. Так, мікротвердість KEП: In+BK8, Cu+BK8, BK8+Cu+BK8 зростає відповідно з 3550 до 4550 МПа; з 2550 до 4100 МПа; з 2860 до 4150 МПа при зростанні питомого зусилля ЗШ до 2100 МПа та для KEП складу BHC2+Cu+BHC2 з 2560 до 5100 МПа при $P_{cp}=4100$ МПа (див. рис. 2.16).

Формування покриттів методом EEЛ пов'язане з високотемпературним впливом джерела енергії на матеріал і підкладку, що наноситься, а також з утворенням різних фаз в поверхневих шарах при взаємодії матеріалу, що

наноситься і обробляється. Процеси нагрівання та охолодження матеріалу електродів у зоні імпульсного розряду зумовлюють появу в шарах, отриманих ЕЕЛ, значних напруг. Фазові перетворення в металах та сплавах, супутні ЕЕЛ, також призводять до утворення в них напруженого стану. Вимірювання залишкових напруг в шарі ЕЕЛ показує наявність в більшості випадків значних напруг, що розтягують.

2.6 Технологічні рекомендації щодо зміцнення та відновлення деталей типу валів

Вхідний контроль

1. Перед початком робіт з відновлення та (або) зміцнення шийок валу, якщо на валу є отвори центру, його необхідно встановити в центрах токарного верстата. Нерідко роботу слід починати з виправлення центрів.

2. Перевірити індикатором биття шийок щодо центрів, і якщо таке існує, то шийки необхідно проточити до відсутності биття чи відповідності його вимогам креслення. Якщо на шийках або інших ділянках валу є пошкоджені місця, їх необхідно проточити «як чисто».

3. Здійснити ретельний вимір всіх відновлюваних та зміцнюваних ділянок валу на відповідність кресленню.

4. На підставі проведених вимірювань та вимог креслення вибрати необхідне обладнання ЕЕЛ та ППД.

Слід пам'ятати, що якщо на ділянках, що відновлюються, присутні шпонкові пази, лиски, різні отвори, наприклад для мастила, та інші конструктивні елементи валу, то їх необхідно захистити від впливу ЕЕЛ, яке може бути причиною їх пошкодження. У цьому випадку можна застосовувати несправжні шпонки, пробки і т.д.

Вибір обладнання

1. Розміри валу визначають модель верстата, на якому проводиться ремонт.

2. Зміцнення шийок валу, залишаючи без зміни або трохи збільшуючи їх діаметр (до 0,01 мм), рекомендується проводити на установках з ручним вібратором моделі «ЕІЛ – 8А», «Елітрон - 22А» та ін. аналогічного типу.

3. Відновлювати зношені ділянки до 0,1-0,2 мм на діаметр можливо на установках з ручним вібратором моделі «ЕІЛ – 8А», «Елітрон – 22А» та ін., проте рекомендується проводити відновлення на механізованих установках типу «ЕІЛ – 9 », що дозволяють відновлювати шийки валів під підшипники ковзання до 0,2-0,5 мм, а під посадкові місця – до 2,5 мм.

4. Обладнання ППД (обкатка кулькою, алмазне вигладжування або обкатка роликом) проводиться відповідно до вимоги креслення до твердості, шорсткості та ін. поверхневого шару шийки валу. Якщо необхідно лише зміцнити шийку валу, то рекомендується застосовувати обкатку кулькою та алмазне вигладжування. У разі відновлення шийок валу до 0,5-0,8 мм на діаметр рекомендується обкатка кулькою, а відновлення до 2,5 мм на діаметр – роликом.

Вибір мат еріалу елект родів т а реж имів ЕЕЛ

1. При зміцненні шийки валу з метою збільшення її несучої здатності необхідно використовувати зносостійкі матеріали: тверді сплави групи ВК і ТК, чисті метали (хром, молібден, вольфрам і т.д.), які наносяться методом ЕЕЛ при струмі короткого замикання $I_{к.з}=2,0-2,2$ А; напрузі холостого ходу $U_{х.х}=68,7$; ємності накопичувального конденсатора $Z=300$ мкф.

В окремих випадках, переважно коли невідомий матеріал валу, шийку валу легують вуглецем - як матеріал електрода використовують електрографіт марок ЕГ-2, ЕГ-3, ЕГ-4 і т. д. ЕЕЛ вуглецем виробляють при струмі короткого замикання $I_{к.з}=1,4-1,6$ А; напрузі холостого ходу $U_{х.х}=48,1$; ємності накопичувального конденсатора $Z=300$ мкф.

Найкращою зносостійкістю мають КЕП, сформовані почерговим нанесенням твердих зносостійких та м'яких антифрикційних матеріалів, наприклад, покриття складу ВК8+Cu+ВК8. У цьому випадку перший та останній шари з твердого сплаву ВК8 наносять при $I_{к.з}=2,1-2,3$ А; $U_{х.х}=67,6$;

$Z=300$ мкФ, а проміжний – мідь – при $I_{к.з}=1,7-2,1$ А; $U_{х.х}=56,8$; $C=300$ мкФ.

2. Відновлення зношених шийок валу під підшипники ковзання роблять на установці «ЕЛ-9» по черговим нанесенням твердих зносостійких (хром, молибден, вольфрам, високоміцні нержавіючі сплави ВНС-2, ВНС-5, ВНС-9 та ін.) та м'яких антифрикційних (мідь) бронза, латунь та ін.) матеріалів.

Тверді зносостійкі матеріали наносять на грубіших режимах, ніж м'які антифрикційні, і в залежності від величини зносу необхідно виділити три діапазони поєднання режимів:

а) твердий зносостійкий матеріал наноситься при силі робочого струму генератора $I_p=10-15$ А, а м'який антифрикційний - при $I_p=5-10$ А, що дозволяє відновити зношену ділянку на 0,10-0,20 мм на діаметр за один прохід;

б) твердий зносостійкий матеріал наноситься при силі робочого струму генератора $I_p=15-20$ А, а м'який антифрикційний - при $I_p=5-10$ А, що дозволяє відновити зношену ділянку на 0,15-0,30 мм на діаметр за один прохід;

в) твердий зносостійкий матеріал наноситься при силі робочого струму генератора $I_p=20-30$ А, а м'який антифрикційний - при $I_p=10-20$ А, що дозволяє відновити зношену ділянку на 0,25-0,40 мм на діаметр за один прохід;

Слід зазначити, що ППД знижує висоту відновленої ділянки та сформованої за один прохід у першому випадку до 0,05-0,10 мм, другий - до 0,10-0,20 мм і третій - до 0,20-0,25 мм.

3. Відновлення зношених шийок валу під посадкові місця роблять на установці «ЕЛ-9». Як матеріали електродів використовуються: нержавіючі сталі, високоміцні нержавіючі сплави ВНС-2, ВНС-5, ВНС-9, кольорові метали та їх сплави і т.д. У цьому випадку необхідно враховувати, що використання сили робочого струму генератора до $I_p=10$ А дозволить нанести покриття завтовшки 0,1-0,2 мм на діаметр; при $I_p=10-20$ А до 0,2-0,3 мм і за $I_p=20-30$ А до 0,4 мм. ППД знижує величину відновленого шару в першому, другому та третьому випадках відповідно до 0,1; 0,2; та 0,3 мм на діаметр за один прохід.

Найбільший приріст (до 0,6-0,8 мм на діаметр) забезпечується при використанні електродів з нержавіючих сталей аустенітного класу, наприклад, 12X18H10T.

Слід пам'ятати, що за рівності всіх інших умов що менше режим легування (потужність розряду), то краще якість сформованого покриття. Крім того, якість КЕП, що застосовуються для відновлення шийок під підшипники ковзання, вища, ніж однорідних, що використовуються переважно для відновлення посадкових місць валів.

Вибір режимів ППД

1. На підставі аналізу напружено – деформованого стану ЕЕЛ шарів різної твердості, що піддаються ППД, необхідно визначити його макроскопічні параметри – глибину наклепаного шару h_s та інтенсивність деформації ϵ_{70} .

2. Доцільно використання режимів ППД електроерозійних покриттів з м'яких антифрикційних металів $\epsilon_{i0}=0,025...0,027$; твердих зносостійких - $\epsilon_{i0}=0,017...0,022$ та КЕП - $\epsilon_{i0}=0,017...0,030$, що дозволяє знизити шорсткість поверхні до $Ra=0,1$ мкм.

3. Щоб упорядкувати та спростити вибір найбільш логічної сили деформації, було зроблено пропозицію класифікувати всі електроерозійні покриття на три групи залежно від мікротвердості конкретної ділянки, що зміцнюється: м'які (менше 2 ГПа), середні (від 2 до 3 ГПа) і жорсткий (більше 3 ГПа). Для покриттів, віднесених до категорії м'яких, рекомендується використовувати питомі деформаційні зусилля в діапазоні від 700 до 1200 МПа. Середні покриття повинні піддаватися зусиллям від 1350 до 1550 МПа, тоді як тверді покриття вимагають зусиль у діапазоні від 2600 до 3100 МПа.

Основні та другорядні операції з механічної обробки

Як правило, початкові етапи процесу включають центрування та поворот на токарних верстатах, які виконуються до ЕЕЛ і ППД. Згодом поверхні, де будуть встановлені компоненти, ретельно поліруються, враховуючи припуск на шліфування 0,20...0,40...0,60 мм на кожную сторону

(більші значення для більших валів). Крім того, точні шийки підшипників піддаються регулюванню методом шліфування. Щоб відповідати необхідним специфікаціям, прорізи та шпонкові канавки фрезеруються на необхідну глибину. Для порожнистих валів і шпинделів, що вимагають підвищеної точності, виконуються додаткові процедури, такі як розточування центрального отвору та внутрішнє шліфування посадочних поверхонь.

Додаткові операції охоплюють низку завдань, таких як свердління отворів для мастила, фрезерування фасок і фасок, видалення фасок і вирізання канавок тощо.

Заключний конт роль

2.7 Висновки по розділу 2

Отже, за результатами проведених досліджень можна відзначити, що за характером масообміну всі м'які метали можна розділити на дві групи. До першої групи належать ті, що мають низьку температуру плавлення (індій, олово, свинець та ін.), а до другої — ті, що мають відносно високу температуру плавлення (мідь, срібло та ін.). Метали з першої групи рекомендується застосовувати тільки в «м'яких» режимах ($J_{к.г}=0,9$ А), а метали з другої групи в усіх режимах ємності накопичувального конденсатора. Наприклад: $C=20$ мкФ і $C=300$ мкФ. Найбільш стабільні результати масообміну для обох груп реалізуються при ЕІЛ протягом перших 2 хв процесу. Шорсткість при ЕІЛ з м'якими металами визначається не тільки матеріалом електрода, а й режимом легування. Збільшення потужності розряду при ЕІЛ означає, що шорсткість сформованих покриттів вище. Як правило, шорсткість покриттів, утворених ЕІЛ з легкоплавкими металами, менша, ніж у покриттів, утворених з більш тугоплавких металів.

Розділ 3 Охорона праці

3.1 Організація роботи з охорони праці на підприємстві

У сучасному ландшафті промислових операцій охорона праці постає як невід'ємний аспект, особливо в секторах, які передбачають технічне обслуговування та ремонт важкої техніки, наприклад, тракторів New Holland. Тонкощі роботи з охорони праці є не просто нормативною формальністю, а життєво важливою складовою у захисті благополуччя співробітників при забезпеченні ефективності роботи. Значення охорони праці виходить за індивідуальну безпеку; він охоплює правові, етичні та економічні аспекти, які разом сприяють стабільному робочому середовищу.

Для розуміння організації роботи з охорони праці на підприємствах необхідно насамперед визначити її основні принципи та встановити її значення в сфері обслуговування та ремонту. Охорона праці стосується заходів і практик, які впроваджуються для забезпечення безпеки та здоров'я працівників на робочому місці, особливо в середовищах, пов'язаних із важкими машинами, такими як трактори. Важливість охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту підкреслюється потенційною небезпекою, пов'язаною з роботою на складних механічних системах, яка може включати такі ризики, як вплив токсичних матеріалів, аварії з механізмами та ергономічні травми. Історично склалося так, що заходи з охорони праці для важкого машинобудування суттєво змінилися, зокрема у відповідь на нещасні випадки на виробництві, які підвищили обізнаність щодо безпеки на робочому місці. Встановлення нормативної бази, як-от керівних принципів Управління з охорони праці (OSHA) у Сполучених Штатах та подібних установ у всьому світі, забезпечило структурований підхід до охорони праці. Ці нормативні акти не лише встановлюють стандарти техніки безпеки, але й накладають юридичні зобов'язання на підприємства щодо дотримання протоколів безпеки, тим самим сприяючи розвитку культури підзвітності та турботи на робочому місці.

Ефективна організація роботи з охорони праці на підприємстві залежить від кількох ключових складових, серед яких перш за все виділяється навчання працівників та протоколи техніки безпеки. Комплексна програма навчання є критично важливою для персоналу з технічного обслуговування та ремонту, зосереджуючись на ідентифікації та пом'якшенні потенційних небезпек, пов'язаних з ремонтом трактора. Навчання, як правило, включає як теоретичні, так і практичні компоненти, включаючи інструкції щодо належного використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), безпечного поводження з інструментами та процедур реагування на надзвичайні ситуації. Наприклад, механіки можуть пройти навчання, як безпечно керувати гідравлічними підійомниками, звичайним інструментом у обслуговуванні тракторів, який створює значний ризик, якщо не використовувати його належним чином. Крім того, неможливо переоцінити важливість постійного навчання та тренувань з техніки безпеки; регулярні зустрічі з безпеки та пробні тренування гарантують, що співробітники залишаються пильними та готовими ефективно реагувати на надзвичайні ситуації. Ця безперервна освіта сприяє розвитку культури обізнаності про безпеку, коли співробітників не лише інформують про потенційні ризики, але й заохочують до активної участі в розробці безпечніших методів роботи.

Оцінка та вдосконалення практик охорони праці мають вирішальне значення для забезпечення їх ефективності та актуальності в робочому середовищі, яке швидко змінюється. Підприємства повинні регулярно контролювати та оцінювати свої поточні заходи з охорони праці, щоб визначити сильні сторони та напрямки для покращення. У цьому процесі оцінювання можна використовувати різні інструменти та методи, включаючи перевірки безпеки, звіти про інциденти та оцінку ризиків, усі з яких надають цінні дані щодо ефективності існуючих протоколів. Наприклад, проведення регулярних перевірок безпеки може виявити рівень відповідності встановленим стандартам безпеки та висвітлити будь-які розбіжності, які необхідно вирішити. Крім того, відгуки співробітників відіграють ключову

роль у виявленні проблем, які можуть бути не відразу очевидними під час офіційного оцінювання. Заохочення відкритого діалогу, коли працівники відчують себе комфортно, повідомляючи про проблеми з безпекою або пропонуючи вдосконалення, може призвести до значного покращення практики охорони праці. Розвиваючи оперативну та адаптивну культуру безпеки, підприємства можуть постійно вдосконалювати свої стратегії охорони праці, що зрештою призводить до безпечнішого робочого середовища та підвищення морального духу працівників.

Організація роботи з охорони праці на підприємствах з обслуговування та ремонту тракторів New Holland є багатоплановою справою, яка охоплює історичний контекст, основні компоненти та постійну оцінку. Оскільки галузь продовжує розвиватися, важливість підтримки суворих стандартів охорони праці залишається першорядною для захисту працівників і забезпечення ефективності роботи. Завдяки комплексним навчальним програмам, регулярним оцінюванням і відкритим комунікаціям підприємства можуть культивувати культуру безпеки, яка не тільки відповідає нормативним вимогам, але й надає пріоритет благополуччю їх робочої сили. Зрештою, успішне впровадження заходів з охорони праці не тільки захищає людей, але й служить основою для сталої ділової практики в секторі технічного обслуговування та ремонту.

3.2 Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці в мобільному пункті ремонту тракторів

Протоколи безпеки є основою будь-якого робочого місця, особливо в таких середовищах, як мобільні ремонтні станції, де технічні працівники наражаються на різні небезпеки. Протоколи безпеки можна визначити як набір конкретних вказівок і процедур, розроблених для мінімізації ризику та підвищення безпеки на робочому місці. У мобільних ремонтних станціях поширені небезпеки включають вплив важкої техніки, електричних компонентів і небезпечних матеріалів, таких як масла та розчинники. За

даними Адміністрації з охорони праці (OSHA), впровадження комплексних протоколів безпеки може значно зменшити кількість інцидентів на робочому місці, створивши безпечніше робоче середовище. Наприклад, мобільна ремонтна станція, яка забезпечує використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як рукавички, окуляри та шоломи, може знизити ризик отримання травм від уламків, що летять, або хімічного впливу. Крім того, протоколи безпеки не тільки захищають працівників, але й підвищують продуктивність; безпечне робоче середовище дозволяє технікам зосередитися на своїх завданнях без постійного страху перед нещасними випадками, тим самим сприяючи культурі ефективності та надійності.

Навчання та навчання є критично важливими компонентами сприяння безпеці на мобільних ремонтних станціях. Регулярне навчання з техніки безпеки гарантує, що працівники добре обізнані з найновішими методами безпеки та усвідомлюють потенційні небезпеки, з якими вони можуть зіткнутися. Наприклад, структурована навчальна програма може охоплювати процедури реагування на надзвичайні ситуації, безпечні методи підйому та належне поводження з небезпечними матеріалами. Крім того, запровадження програм сертифікації для техніків з ремонту може підвищити їхню кваліфікацію та прищепити глибше розуміння протоколів безпеки. Такі програми часто включають практичне оцінювання, яке гарантує, що техніки можуть продемонструвати свої навички в реальних ситуаціях. Постійне навчання є не менш важливим, оскільки воно інформує персонал про нові технології та стандарти безпеки, що розвиваються. Наприклад, у міру того, як електричні та гібридні трактори стають все більш поширеними, техніків необхідно навчити справлятися з унікальними проблемами та ризиками, пов'язаними з цими транспортними засобами. Віддаючи пріоритет навчанню та освіті, мобільні ремонтні станції можуть виростити обізнану робочу силу, яка надає перевагу безпеці та готова адаптуватися до змін у галузі.

Вирішальну роль у забезпеченні безпечних умов праці на пересувних ремонтних станціях відіграє проектування та технічне обслуговування

обладнання та засобів. Використання відповідних інструментів і обладнання, призначених для конкретного ремонту тракторів New Holland, має важливе значення для мінімізації ризиків. Наприклад, використання інструментів з ергономічною конструкцією може зменшити ймовірність повторних травм, які часто зустрічаються під час ремонтних робіт. Крім того, регулярне технічне обслуговування та перевірка інструментів є життєво важливими для забезпечення їх безпечного робочого стану; зношені або пошкоджені інструменти можуть призвести до нещасних випадків, що загрожує як безпеці працівників, так і якості ремонту. На додаток до обладнання, макет мобільної ремонтної станції повинен бути розроблений таким чином, щоб зменшити небезпеку. Це включає забезпечення належних систем вентиляції для пом'якшення впливу шкідливих випарів і проектування конфігурацій робочого простору, які забезпечують безпечне пересування та доступ до інструментів. Дотримуючись суворих стандартів обладнання та обладнання, мобільні ремонтні станції можуть створити безпечніше середовище, яке захищає своїх працівників і одночасно підвищує ефективність роботи.

Забезпечення безпечних умов праці на мобільних станціях ремонту тракторів New Holland є важливим зобов'язанням, яке включає виконання суворих протоколів безпеки, комплексне навчання та освіту, а також дотримання стандартів обладнання та об'єктів. Завдяки пріоритетності цих заходів мобільні ремонтні станції можуть зменшити ризики, підвищити добробут працівників і, зрештою, покращити якість послуг, що надаються фермерам, які покладаються на ці життєво важливі машини. Оскільки сільськогосподарська галузь продовжує розвиватися, дотримання непохитної прихильності до безпеки стане неоціненним у створенні продуктивного та безпечного робочого середовища для всіх техніків, залучених до технічного обслуговування та ремонту тракторів New Holland.

3.3 Висновки до розділу 3

Враховуючи вищезазначені фактори, дотримуючись правил безпеки,

забезпечуючи своєчасне навчання та обережне поводження, можна запобігти нещасним випадкам на виробництві, що призведе до зменшення травматизму та, зрештою, підвищить ефективність працівників.



Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ

Розділ 4 Техніко-економічна оцінка ефективності мобільного пункту ремонту

4.1. Економічне обґрунтування застосування мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland.

Традиційні методи ремонту, які часто передбачають поїздку до стаціонарного цеху, можуть призвести до значних простоїв і збільшення витрат для фермерів. У відповідь на ці виклики мобільні пункти ремонту з'явилися як життєздатна альтернатива, пропонуючи ряд економічних переваг, які не тільки полегшують фінансовий тягар для фермерів, але й підвищують загальну продуктивність. У цьому есе досліджуватиметься економічне обґрунтування використання мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland, зосереджуючись на економії коштів, підвищенні продуктивності та порівняльному аналізі з традиційними методами ремонту.

Першою і головною економічною перевагою мобільних пунктів ремонту є значна економія коштів, яку вони пропонують фермерам. Доставляючи ремонтні послуги безпосередньо в поле, мобільні ремонтні пункти позбавляють фермерів необхідності транспортувати свої трактори до віддалених ремонтних майстерень. Це зниження транспортних витрат є особливо цінним у сільській місцевості, де ремонтні потужності можуть бути рідкісними та далеко від ферми. Наприклад, фермер, який зазвичай витрачає понад 100 доларів на паливе та робочу силу для транспортування трактора, може перенаправити ці кошти на більш продуктивні цілі, такі як придбання насіння чи добрив. Крім того, мобільні пункти ремонту мінімізують час простою під час ремонту. Традиційні методи часто вимагають очікування прибуття запчастин або появи техніки, що може призвести до того, що фермери не зможуть працювати зі своєю технікою протягом тривалого часу. Завдяки послугам мобільного ремонту технічні спеціалісти часто можуть виконувати ремонт на місці, тим самим скорочуючи час виходу трактора з експлуатації. Ця ефективність перетворюється

на значну фінансову економію, оскільки фермери можуть продовжувати свою діяльність без суттєвих перерв, що зрештою призводить до підвищення прибутковості.

Вплив мобільних пунктів ремонту на продуктивність неможливо переоцінити. Зводючи до мінімуму збої в роботі, ці послуги дозволяють фермерам підтримувати послідовний робочий процес, що є вкрай важливим під час критичних сезонів посіву та збору врожаю. Коли трактор New Holland ламається, подальша затримка може мати каскадний вплив на сільськогосподарську продукцію. Наприклад, якщо трактор необхідний для оранки або сівби, будь-яка затримка може призвести до того, що культури будуть висаджені пізно, що може знизити врожайність або якість. І навпаки, своєчасний ремонт за допомогою мобільних сервісних підрозділів гарантує, що фермери зможуть швидко вирішувати механічні проблеми, таким чином зберігаючи продуктивність сільського господарства. Крім того, мобільні пункти ремонту підвищують ефективність сільськогосподарських операцій, дозволяючи фермерам планувати ремонт у зручний для них час. Ця гнучкість означає, що фермери можуть максимізувати використання робочої сили та техніки, гарантуючи, що кожна година роботи сприяє підвищенню продуктивності. У результаті інтеграція мобільних пунктів ремонту не тільки забезпечує поточний рівень продуктивності, але й сприяє створенню середовища, в якому фермери можуть зосередитися на розширенні своєї діяльності, не турбуючись про вихід обладнання з ладу.

Щоб повною мірою оцінити економічні переваги мобільних ремонтних пунктів, важливо порівняти їх із традиційними методами ремонту. Традиційні ремонтні майстерні часто спричиняють приховані витрати, які можуть накопичуватися та суттєво впливати на бюджет фермера. Наприклад, крім плати за послуги, фермери повинні враховувати витрати на відрядження, які включають паливе, технічне обслуговування транспортних засобів і вартість часу, втраченого під час транспортування. Дослідження показують, що фермери можуть втратити кілька годин у дорозі, що призводить до втрати продуктивності

та прибутку. Крім того, плата за обслуговування в традиційних ремонтних майстернях може суттєво відрізнятись, що часто залежить від розташування та репутації майстерні. Навпаки, служби ремонту мобільних пристроїв часто пропонують прозорі моделі ціноутворення та конкурентоспроможні ставки, що може призвести до суттєвої економії. Аналізуючи ці витрати, стає очевидним, що мобільні пункти ремонту є більш економічною альтернативою для фермерів, які покладаються на трактори New Holland. Поєднання нижчої плати за обслуговування та зниження витрат на проїзд позиціонує мобільні пункти ремонту як не лише зручний варіант, але й фінансово обґрунтовану стратегію обслуговування сільськогосподарської техніки.

Розрахунок економічної ефективності наведено в додатку А.

4.2 Висновки до розділу 4

Підсумовуючи, економічне обґрунтування використання мобільних пунктів ремонту тракторів New Holland є переконливим. Пропонуючи значну економію коштів, мінімізуючи час простою та підвищуючи продуктивність, мобільні послуги ремонту задовольняють критичні потреби сучасних фермерів, які залежать від надійної техніки для підтримки своєї діяльності. У порівнянні з традиційними методами ремонту очевидно, що мобільні пункти ремонту забезпечують більш ефективне та економічно вигідне рішення. Оскільки сільськогосподарський сектор продовжує розвиватися, впровадження інноваційних моделей обслуговування, таких як мобільні пункти ремонту, буде мати важливе значення для того, щоб фермери могли ефективно управляти своїми ресурсами, підвищувати продуктивність і, зрештою, забезпечувати собі засоби до існування на ринку, що стає все більш конкурентним.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз досвіду експлуатації тракторів New Holland показав, що найбільш інтенсивна втрата продуктивності припадає на перші 1000 годин і після 7000 годин роботи.

2. Аналіз системи технічного обслуговування та ремонту показав, що для підвищення рівня технічної справності обладнання необхідно використовувати мобільні ремонтні пункти для виконання робіт з відновлення в польових умовах.

3. Метод електроіскрового легування в поєднанні з поверхневим пластичним деформуванням дозволяє в польових умовах відновлювати зношені поверхні деталей тракторів і надавати поверхням необхідні параметри якості.

4. Мобільні станції ремонту тракторів New Holland доцільно додатково оснастити, крім зазначених, переносними установками для електроіскрового легування.

5. Дослідженнями встановлено, що якісні характеристики поверхонь відновлених деталей залежать від режимів роботи установки електроіскрового легування.

Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ

Список використаних джерел

1. ENGINE - New Holland Agriculture. (n.d.), від agriculture.newholland.com
2. T9 with PLM Intelligence™ - 4wd Tractors | New Holland. (n.d.), від agriculture.newholland.com
3. EFFICIENT, PRODUCTIVE HIGH-HORSEPOWER (n.d.), від assets.cnhindustrial.com
4. Precision Technology - New Holland Agriculture. (n.d.), від agriculture.newholland.com/en-us/nar/products/plm
5. Integrated Steering: IntelliSteer™ | New Holland (Middle East). (n.d.), від agriculture.newholland.com
6. MAINTENANCE - New Holland Agriculture. (n.d.) в, від agriculture.newholland.com
7. Tractor Maintenance: How to Make Your Tractors Last. (n.d.), від nelsontractorco.com/tractor-maintenance-make-tractors-last/
8. Planned Maintenance Agreements - New Holland Agriculture. (n.d.), від agriculture.newholland.com
9. Maintaining and Repairing Tractors: What Are the Most (n.d.), від www.hars.com.tr
10. A review of maintenance management of tractors and (n.d.), від www.researchgate.net
11. Developing a Standard Maintenance Procedure. (n.d.) в, від www.clickmaint.com/maintenance-procedure
12. Best Practices For Fluid Maintenance. (n.d.), від fastercapital.com
13. Best Practice for Tyre Maintenance and Achieving the Right (n.d.), від www.autozacs.com
14. What Do Maintenance Technicians Do? Roles, (n.d.), від oxmaint.com/blog/post/maintenance-technicians-role
15. Essential Skills and Duties of a Maintenance Technician. (n.d.) від www.manwinwin.com/maintenance-technician/

16. Essential Tools Every Maintenance Technician Needs. (n.d.), від unmudl.com/blog/essential-tools-maintenance-technician
17. Островський М.С. Феттинг як передумова зниження надійності гірничих машин. Інформаційно-аналітичний бюлетень. 2011. Т. 3. No 12. С. 315-331.
18. Голого Н.Л., Аляб'єв А.Я., Шевель В.В. Фреттинг-корозія металів. Київ: Техніка, 1974.272 с.
19. Тарельник В.Б., Марцінковський В.С., Братушак М.П. Проблеми захисту гнучких муфт турбокомпресорів від фреттинг-корозії. Вісник СНАУ. – Випуск 12, 2005. С. 231–240.
20. Петухов А.Н. Фреттинг-корозія та фреттинг-втома непрацюючих з'єднань ГТР і силових машин. Аерокосмічна техніка і техніка №7 (15), 2004, Харків, «ХАІ». С. 128134.
21. Маліцький І.Ф., Чернятіна Є.В. Вплив шорсткості та способів обробки на міцність при розтягуванні. Україна. «Машинобудування», No13, 2014.
22. Марцінковський В., Тарельник В., Коноплянченко І., Гапонова О., Думанчук М. (2020) Опорна технологія захисту контактних поверхонь напівмуфти — прес-з'єднань вала від фреттингового зносу. В: Іванов В. та ін. (ред.) Досягнення в області проектування, моделювання та виробництва II. DSMIE 2019. Конспект лекцій з машинобудування. Спрінгер, Чам.https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_22
23. Тарельник В. Б., Марцінковський В. С. Модернізація та ремонт роторних машин: Монографія. Суми: Вид-во: «Козацький вал» 2005.364 с.
24. Лебедь ВТНВ Тарельник Підвищення властивостей відновлюваних великогабаритних композитних виробів. Вісник СНАУ, Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 11 (26), 2014. С.14-20.
25. Асланян І.Р. Селіс Я.П., Шустер Л.Ш. Фреттинг-корозійне електролітичне покриття NiP. Тертя і знос. 2011. No 6. Т. 32.С. 556-561.
26. Тарельник В. Б., Марцінковський В. С., Білоус А. В., Павлов А. Г.

Проблеми та перспективи підвищення якості фіксованого зв'язку. *Машинобудування*. 2012. № 9. С. 218-232.

27. Чжан В., Сюе К. Характеристики фреттингового зносу багатошарів Ni/Cu, електроосаджених на підкладці з берилієвої бронзи. *Зношування*. 1998. Вип. 214. С. 23-29.

28. Ред В., Максаров В., Олт Я. Підвищення стійкості до фреттингу сильно навантажених деталей машин тертя за допомогою модифікованої полімерної композиції. *Агрономічні дослідження*. 2016.14 (S1). С. 1023-1033.

29. Ред В., Максаров В., Олт Я. Підвищена зносостійкість і фреттинг-стійкість деталей гірничих машин із регулярними візерунками шорсткості. *Annals of DAAAM and Procedures of International DAAAM Symposium*, 2016. P. 151-156.

30. Максаров В.В., Красний В.А. Особливі характеристики фрикційних механізмів триплівкових цитат робітників деталей машин при корозії різання *AER-Advances in Engineering Research*. 2017. Вип. 133 (Актуальні питання машинобудування AIME-2017). С. 445-451.

31. Варенберг М., Гальперін Г., Еціон І. Різні аспекти ролі уламків зносу в зносі фреттингу. *Зношування*. 2002. Вип. 252. № 11-12. С. 902-910.

32. Волчок А., Гальперін Г., Еціон І. Ефективність регулярної мікро топографії поверхні на довговічність фреттингової втоми. *Зношування*. 2002. Вип. 253. № 3-4. С. 509-515.

33. Kubiak KJ, Mathia TG, Fouvy S. Вплив шорсткості поверхні на карті тертя в умовах фреттингового контакту. *Міжнародна трибологія*. 2010.43 (8). С. 1500-1507.

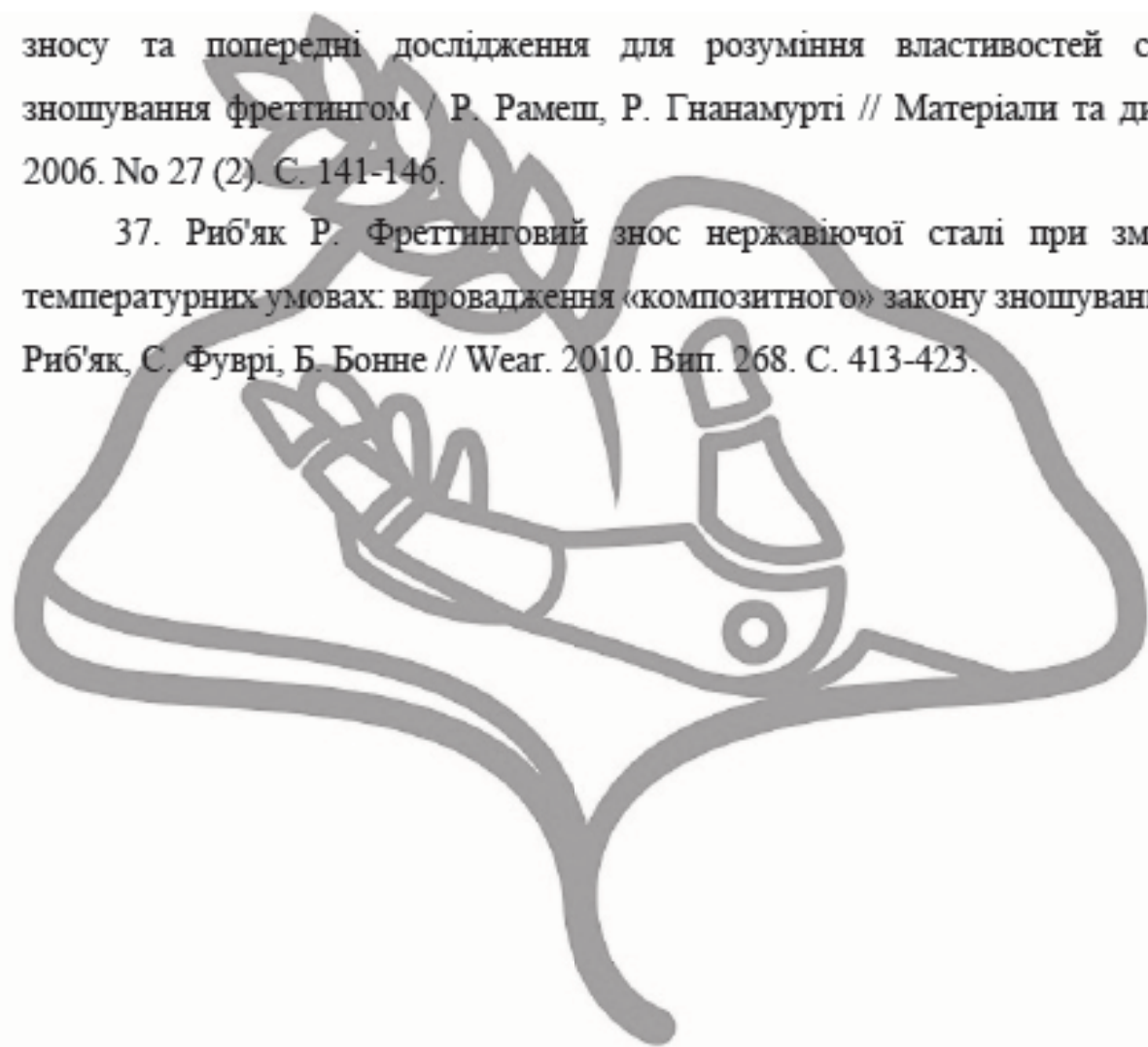
34. Хуан Д., Лі Р., Хуанг Л., Джі В., Чжан Т. Зношування об'ємної аморфної сталі. *Інтерметаліди*. 2011.19 (10). С. 1385-1389.

35. Pearson SR, Shipway PH, Abere JO, Hewitt RA Вплив температури на плаву та різання високих міцних стовбурів при фреттингу. *Зношування*. 2013. Вип. 303. С. 622-631.

36. Рамеш Р. Розробка обладнання для випробування фреттингового

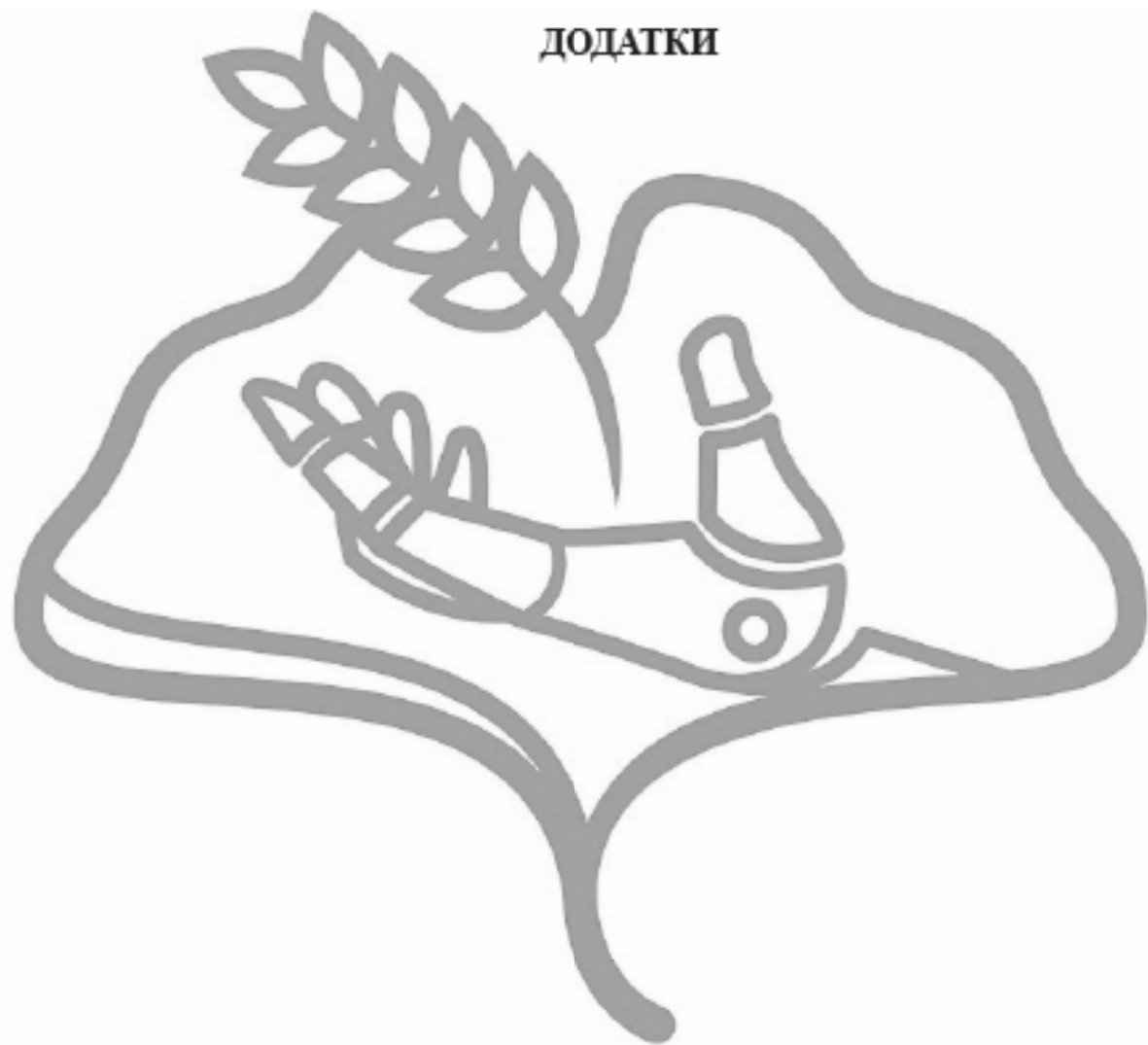
зносу та попередні дослідження для розуміння властивостей сталей зношування фретингом / Р. Рамеш, Р. Гнанамурті // Матеріали та дизайн. 2006. № 27 (2). С. 141-146.

37. Риб'як Р. Фреттинговий знос нержавіючої сталі при змінних температурних умовах: впровадження «композитного» закону зношування / Р. Риб'як, С. Фуврі, Б. Бонне // Wear. 2010. Вип. 268. С. 413-423.



Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ

ДОДАТКИ



Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ