

УДК 621.793

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПЕРВИННОГО ВАЛУ РОЗПОДІЛЬНОЇ КОРОБКИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ

Лисенко С.В.¹, к.т.н., доц.,

Невчак А.², PhD, проф.

Лимарчук М.В.¹

Центральноукраїнський національний технічний університет¹

Люблінський технологічний університет²

Аналіз напрямів модернізації техніки в Україні і за кордоном, опитування експертів та думок вчених і фахівців показують, що найбільш перспективними з них є підвищення продуктивності машин, їх надійності, економічності та комфортності обслуговування. Вважаємо, що підвищення надійності модернізованих машин має відбутися за рахунок використання більш досконалих конструкцій агрегатів та нових матеріалів, в тому числі при відновленні деталей. Великі можливості підвищення ресурсу відновлених деталей при модернізації деталей машин відкривають технології нанесення зміцнюючих покриттів, у тому числі композиційних, які увійшли до переліку критичних технологій.

Значний інтерес для цих цілей представляють процеси нанесення покриттів із застосуванням нанотехнологій. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості відновлених деталей є легування покриттів, отриманих залізненням, і застосування комбінованих технологій з подальшим зміцненням. Одними з найбільш ефективних легуючих елементів є молібден, вольфрам, титан, кобальт та інші. Однак для використання таких технологій на сервісних підприємствах необхідні рекомендації, як за складом електролітів, так і щодо режимів нанесення і зміцнення покриттів. Тому розробка науково-обґрунтованих методів підвищення технічного рівня відновлення і зміцнення зношених деталей машин на основі залізнення є актуальним науково-технічним завданням. Для вирішення даного завдання необхідно проробити наступні питання: проаналізувати проблеми управління технічним рівнем технології відновлення деталей електролітичними покриттями; теоретично обґрунтувати підвищення якості залізнення деталей шляхом їх легування домішками і хіміко-термічною обробкою; розробити програму та методику експериментальних досліджень якості залізних покриттів; проаналізувати стан технології залізнення деталей, що використовуються на підприємствах; дослідити вплив легуючих добавок на фізико-механічні властивості залізних покриттів; дослідити вплив термообробки покриттів на їх фізико-механічні властивості; оптимізувати режими нанесення і зміцнення легованих залізних покриттів; провести експлуатаційні випробування деталей з легованими залізними покриттями. розробити технологічні рекомендації по складу електролітів і щодо режимів нанесення і зміцнення легованих залізних покриттів; визначити економічний ефект від використання зміцнюючих залізних покриттів при

ресурсній модернізації деталей машин на сервісних підприємствах. Об'єктом дослідження в цьому випадку представляються технології відновлення та зміцнення деталей машин залізненням.

Одним з варіантів підвищення надійності та коефіцієнта готовності техніки є модернізація машин, що знаходяться в експлуатації. Вченими і спеціалістами науково-дослідних інститутів спільно з заводами виробниками і сервісними підприємствами розроблені основи наукового забезпечення проблеми модернізації машин, у тому числі концепція і практичні рекомендації.

Для реалізації розроблених процесів видана нормативно-технічна документація, а технологічні процеси були впроваджені на різних ремонтних підприємствах для відновлення великої номенклатури деталей машин. Однак в останнє десятиліття обсяги відновлення деталей гальванопокрыттями в загальному обсязі різко знизилися. Однією з причин є недостатній технічний рівень технологічних процесів нанесення гальванопокрыттів. Великі можливості підвищення ресурсу відновлених деталей при модернізації деталей машин відкривають технології нанесення зміцнюючих покриттів. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості відновлених деталей є легування покриттів, отриманих залізненням. Одними з найбільш ефективних легуючих елементів є молібден і вольфрам. Однак такі технології практично не використовуються для відновлення та зміцнення деталей на сервісних підприємствах, зважаючи малодосліджуваність закономірностей впливу легуючих домішок в електроліт на фізико-механічні властивості покриттів. В літературі практично відсутні рекомендації щодо подальшої термічної і термохімічної обробки таких покриттів з метою підвищення ресурсу відновлених деталей. У вивчення цих питань зробили великий внесок Гадалов В. Н., Казанцев С. П. та інші вчені. На основі вивчення стану проблеми сформульовано мету і визначено завдання досліджень, які викладені в загальній характеристиці роботи.

Розроблено науково-методологічні основи оцінки технічного рівня технологічних процесів відновлення деталей і теоретично обґрунтовано застосування легуючих добавок при відновленні деталей залізненням. Для оцінки технічного рівня нових машин, обладнання та технологій розроблено безліч різних підходів і методів.

Більшість моделей, що дозволяють оцінити технічний рівень обладнання або технологічного процесу, засновані на зіставленні одиничних показників зразка (нової технології) і аналога:

$$K_{Ty} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{n} \quad (1)$$

де K_{Ty} – коефіцієнт технічного рівня; g_i – відносний показник зразка і аналога; n – кількість оціночних показників.

Для оцінки технологічних процесів відновлення деталей використовуються й інші критерії, зокрема енергетичний, запропонований професором Батищевим А.Н.:

$$\varphi_{Ei} = \frac{K_{li} \cdot K_{ri}}{K_{gi}} \rightarrow \min \quad (2)$$

де K_{li} , K_{ri} – коефіцієнти енергоємності та трудомісткості відновлення деталей і-тим способом; K_{gi} – коефіцієнт довговічності деталі, відновлений і і-тим способом.

Для оцінки ефективності різних варіантів відновлення деталей за рахунок нанесення покриттів з урахуванням витрат, пов'язаних із знешкодженням шкідливих викидів у навколишнє середовище, нами пропонується використовувати приведені витрати. При цьому найбільш доцільний варіант з найменшими приведеними витратами, які включають в себе практично всі значущі витрати на виконання технологічних операцій і забезпечення виробничого процесу з урахуванням захисту навколишнього середовища.

$$P_{PB} = \left(\begin{aligned} &C_{ЗП} + E_{УД.В} \cdot C_E + \\ &+ \left(\sum \frac{P_B^i}{T_{ОБ.В}^i \cdot C_B} + \frac{P_{ОБ.СУМ}}{\Phi_{ОБ.В} \cdot C_B} + \frac{1}{C_B} \sum \frac{M^i \cdot C_i}{T^i} + \frac{1}{C_B} \sum \frac{C_{PER}^i}{T^i} \right) + \\ &+ \frac{C_{СТ}}{\Phi_{ОБ.В} \cdot C_B} + \frac{V_n \cdot C_{ЗД} \cdot H_a}{100 \cdot \Phi_{ОБ.В} \cdot C_B} + C_{МЕХ.УД} \end{aligned} \right) \cdot \frac{1}{K_d} \quad (3)$$

де P_{PB} – приведені витрати на відновлення деталей, грн/шт. (грн/дм²), $C_{ЗП}$ – зарплата робітників, які виконують технологічні операції з нанесення покриттів, грн/шт. (грн/дм²); $E_{УД.В}$ – питомі витрати енергії на нанесення покриттів, кВт·год/шт (кВт·год/дм²); C_E – ціна 1 кВт·год енергії, грн/кВт·год; P_B^i – авансова вартість і-го устаткування і оснащення для нанесення покриттів, в т.ч. для знешкодження стічних вод і викидів в атмосферу, грн; $T_{ПРО.В}^i$ – ресурс і-го обладнання, год; C_B – продуктивність технології нанесення покриттів, шт/год (дм²/год); $P_{ОБ.СУМ}$ – річна вартість обслуговування всього комплексу обладнання з нанесення покриттів і знешкодження стічних вод і викидів в атмосферу, грн/рік; $\Phi_{ПРО.В}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год; M^i – витрата і-го виду матеріалів (включаючи воду, газ) нанесення покриттів, кг; T^i – термін, протягом якого використовується M^i кількість матеріалу, год; C_i – вартість і-го матеріалу, грн/кг; C_{PER}^i – вартість регенерації і-х матеріалів, використовуються при нанесенні покриттів, протягом терміну їх використання, грн; $C_{СТ}$ – річні витрати на знешкодження стічних вод і викидів в атмосферу, грн/рік; V_n – об'єм приміщення, використовуваного для нанесення покриттів, м³; $C_{ЗД}$ – ціна 1 м³ приміщень, грн/м³; H_a – норма амортизаційних відрахувань, %; $C_{МЕХ.УД}$ – питома вартість механічної обробки перед і після нанесення покриття, грн/шт (грн/дм²); K_d – коефіцієнт довговічності (відношення ресурсів відновлених і нової деталей).

Стосовно до оцінки технологічних процесів відновлення деталей гальвано покриттями нами запропонована формула:

$$P_{PB} = \left(\begin{aligned} &C_{3П} + E_{УД.В} \cdot C_E + \\ &\left(\sum \frac{P_{Гі}}{T_{ОБ.Гі} \cdot C_{Г}} \right) + \frac{P_{ОБ.СУМ}}{\Phi_{ОБ.В} \cdot C_{Г}} + M_A \cdot C_A + \frac{C_{ЕЛ.ОБ}}{\Phi_{ОБ.В} \cdot C_{Г}} + \\ &\frac{V_B \cdot C_{ВП}}{\Phi_{ОБ.В} \cdot C_{Г}} + \frac{C_{СТ}}{\Phi_{ОБ.В} \cdot C_{Г}} + \frac{V_{П} \cdot C_{ЗД} \cdot H_A}{100 \cdot \Phi_{ОБ.В} \cdot C_{Г}} + C_{МЕХ.УД} \end{aligned} \right) \cdot \frac{1}{K_D} \quad (4)$$

де P_{PB} – приведені витрати на нанесення гальванічних покриттів при певній середній товщині покриттів, грн/дм²; $E_{УД.Г}$ – питомі витрати енергії на нанесення гальванічних покриттів при певній середньої товщині, кВт год/дм²; $P_{Гі}$ – балансова вартість і-го устаткування і оснащення для нанесення покриттів, підготовчо-заклучних операцій, допоміжного обладнання, в т.ч. і знешкодження стічних вод і викидів в атмосферу, грн; $T_{ПРО.Гі}$ – ресурс і-го обладнання, год; $З_{Г}$ – продуктивність технологічної лінії нанесення покриттів, дм²/год; M_A – питома витрата анодів на нанесення гальванічних покриттів, кг/дм²; C_A – ціна анодів з урахуванням їх підготовки до роботи, грн/кг; $З_{ЕЛ.і}$ – вартість приготування електроліту і-й ванни, входить до складу технологічної лінії, грн; $T_{Эл.і}$ – термін служби електроліту і-й ванни, год; $З_{ЕЛ.ПРО}$ – річна вартість робіт з контролю, фільтрації коригування електролітів у ваннах, що входять всклад технологічної лінії, грн/рік; V_B – річна витрата промивної води при реалізації технологічного процесу нанесення гальванічних покриттів, м³/рік; $З_{ВП}$ – вартість промивної води, грн/м³.

Електролітичне осадження металів може розглядатися як своєрідний спосіб отримання високоміцного стану металів шляхом формування високодисперсних нерівноважних структур, насичених дефектами і гранично зміцнених. Мікротвердість таких структур досягає 6,0...6,5 ГПа, а величина блоків мозаїки зменшується до 100...120 Å.

Для отримання міцних і зносостійких залізних покриттів доцільно використовувати хлористий електроліт, що забезпечує високу універсальність і хороші техніко-економічні показники процесу. Найкраща якість і висока швидкість осадження електролітичного заліза отримані при використанні для електролізу асиметричного струму.

При гальванічному осадженні заліза та сплавів на його основі структура опадів має характерне шарувату будову, у свою чергу обложені шари складаються з субзерен, розміри яких коливаються в межах від 500 до 2000 Å, конфігурація яких відповідає конфігурації шарів.

Оцінку технічного рівня технологічних процесів відновлення деталей проводили за одиничними показниками і розробленим критерієм. Осадження легованих покриттів на основі заліза проводилося з хлористих електролітів. Склад електроліту: хлористе залізо 350...400 г/л, соляна кислота 0,7...1,8 г/л. Режимы нанесення: катодна щільність струму 20...40 А/дм², катодно-анодний показник 1,5...6, температура електроліту 293...313 К, кислотність рН 0,8...1,0. Склад домішок в електроліт подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад домішок в електроліт

Покриття (сплав)	Добавка
Залізо-фосфор	гіпофосфат-натрію
Залізо-вольфрам	вольфрамо-кислий натрій лимонна кислота
Залізо-молібден	молібдат аммонію лимонна кислота
Залізо-бор	борна кислота
Залізо-титан	титан луго-кислий
Залізо-кобальт	кобальт хлористий
Залізо-алюмінієвий	хлористий алюміній хлористий калій
Залізо-ванадій	метаванадат аммонія

Кислотність електроліту контролювали за допомогою приладу рН-340. Концентрація заліза підтримувалася за рахунок розчинення анодів, виготовлених з маловуглецевої сталі, а концентрація інших елементів – за рахунок періодичного введення в електроліт відповідних розчинів. Масу осажденного металу визначали на аналітичних вагах ВЛА-200 з точністю 0,1 мг. Живлення лабораторної установки здійснювали асиметричним змінним струмом промислової частоти з двома назустріч включеними діодами. Нанесення покриттів проводили на плоскі та циліндричні зразки. Перед покриттям зразки ретельно промивали у бензині, ацетоні. Після зважування їх знежирюють віденським вапном, промивали у воді і піддавали анодному травленні у 30 % розчині сірчаної кислоти з додаванням 15...20 кг/м³ сірчаноокислого заліза. Час травлення – 1...2 хвилини при щільності струму – 30...70 А/дм². Після промивання проточною водою зразки завішували в робочу ванну і електричні параметри (щільність струму і показник асиметрії) доводили до номінальних протягом 4...5 хвилин. Термообробку зразків з покриттям виробляли в муфельній печі. Регулювання та підтримування заданої температури термообробки проводили за допомогою електронного автоматичного потенціометра ЗДП-12 і платиновородієвої термопари ПР з точністю ± 5 °С. Для проведення ціанування електроосадження сплавів застосовували складу пасти (% мас.): $K_4Fe(CN)_6$ – 70; сажа – 20; $CaCO_3$ – 5; Na_2CO_3 – 5.

Механічну обробку дослідних деталей проводили на обладнанні і режимах серійного виробництва. Визначення мікротвердості покриттів проводили на приладі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 0,1 Н. Дослідження мікроструктури сплавів проводили за допомогою металографічного мікроскопа МИМ-8М на поперечних шліфах. Фазово-структурні зміни в осадок сплаву досліджували методом структурного аналізу на установці УРС-60. Для дослідження структури були обрані залізо-молібденові, залізо-вольфрамові, залізо-титанові і залізо-фосфорні покриття. Для вивчення впливу температури і тривалості насичення на товщину дифузійних шарів при ціануванні покриттів

використовували пасту на основі сажі з додаванням оптимальної кількості жовтої кров'яної солі, соди і крейди. Насичення проводили при температурах 813...973 К, тривалість процесу становила 1...5 год. Після насичення зразки охолоджували у воді. На ціанірованих зразках готували мікрошліфи, на яких за допомогою мікроскопа МИМ-8 з окуляр-мікрометром вимірювали також загальну товщину ціанованного шару і глибину карбонітридної зони в цьому шарі. Для дослідження внутрішніх напружень в електролітичних осадах використаний метод розтягування-стиснення стрічкового катода. Міцність зчеплення оцінювали за ступенем відшаровування покриття в місці вигину. Зчіплюваність сплаву оцінювали як відношення зусилля нормального відриву до площі поперечного перерізу. Випробування зразків на втомну міцність проводили на машині типу УКІ-10М. Для порівняльних випробувань сталевих зразків приймалася база 5-106 циклів. Основним критерієм для визначення межі міцності і побудови кривих було повне руйнування зразка.

Для ударних випробувань нітроцементованих та інших зміцнених шарів на поверхні деталей був розроблений спеціальний зразок квадратного перерізу без надрізу, розміром 1,5x1,5 мм, довжиною 20...30 мм і застосована схема випробування з одностороннім кріпленням зразка. Випробування проводили на сконструйованому копрі з маятником. По кожному зразку наносили по 6 ударів. Для вивчення працездатності деталей з легованими залізними покриттями нами були проведені стендові випробування дизельних і карбюраторних двигунів на обкатувально-гальмівному стенді. На дизель СМД-14 були встановлені відновлені валики коромисел клапанів (поз. НСМД-0644-1) з різними покриттями (експериментальні валики). Осадження сплавів велося на оптимальних режимах. Випробування проводили на стенді КИ-3824. Тривалість випробувань склала 800 годин. Аналогічні випробування проведені для двигуну ЗИЛ-130. На них установлювали зміцнені штовхачі і штоки клапанів розподільні вали, шатуни.

Розроблені нові технологічні прийоми нанесення гальванічних покриттів, підвищують їх якість, у тому числі шляхом введення в електроліт легуючих добавок. Так зі збільшенням концентрації хлориду заліза в електроліті з 200 до 600 кг/м³ мікротвердість покриття знижується майже на 2000 МПа, а добавки в цей електроліт невеликих кількостей молібдену, вольфраму та фосфору сприяє збільшенню мікротвердості на 2500...3000 МПа. При збільшенні вмісту молібдену, вольфраму і фосфору мікротвердість покриттів проходить через максимум, досягаючи рівня 8000...8300 МПа. У порівнянні з електролітичним залізом мікротвердість сплавів на його основі, збільшується в середньому на 2000...3000 МПа. Зміна коефіцієнта асиметрії струму при електролізі в межах від 1 до 5 чинить значний вплив на мікротвердість досліджених двокомпонентних сплавів. При низьких значеннях показника асиметрії ($\beta = 1,3...1,5$) мікротвердість сплаву відносно невелика (~ 3500 МПа), опади мало напруженими, міцно зчеплені з основою. При збільшенні значення показника асиметрії мікротвердість сплавів підвищується, однак зростають і внутрішні напруження розтягування в осажденному металі. Структура всіх сплавів характеризується при цьому дрібнозернистістю і значним спотворенням

кристалічної решітки заліза. Залежність мікротвердості Fe-P покриттів від параметрів електролізу має вигляд:

$$H_{\mu(Fe-P)} = 2836 - 30.34 \cdot C_p^2 - 3 \cdot 10^{-3} \cdot D_k^2 - 72.8 \cdot \beta^2 - 0.54 \cdot C_{Fe} + 480.8 \cdot C_p + 1013.44 \cdot \beta + 2.03 \cdot D_k \cdot C_p + 0.06 \cdot C_p \cdot C_{Fe} \quad (5)$$

Найвищий рівень внутрішніх напружень, що досягає в залізо-фосфорних сплавах 350 МПа, має місце в перших шарах електролітичних осадів. При товщині осаду у 10 мкм напруги знижуються до 250 МПа, а при 20 мкм – до 180 МПа. При подальшому збільшенні товщини осаду рівень внутрішніх напружень залишається постійним. Підвищення щільності струму при електроосадженні двокомпонентних покриттів призводить до збільшення напруженості осаджень, підвищення температури електроліту призводить до зворотного ефекту. Основними причинами, що викликають внутрішні напруги в покриттях, можуть бути: а) зміни параметрів кристалічної решітки; б) форма росту осаду, характер і однорідність структури; в) характер, щільність і стійкість структурних недосконалостей; г) включення і домішки. Ці причини взаємопов'язані і зумовлюються природою, властивостями навантажених металів, складом електроліту та умов електролізу. При електроосадженні сплавів заліза на асиметричному струмі міцність зчеплення покриттів з основним металом залежить перш за все від показника асиметрії, чим нижча величина цього показника, тим міцніший зв'язок покриття з основою. Для підвищення міцності зчеплення осадження покриттів починається при показнику асиметрії 1,2...1,3. Це забезпечує отримання максимальної міцності зчеплення, що досягає 300...350 МПа. Через 10...15 хвилин після початку електролізу показник асиметрії і щільність струму доводять до номінальних значень. Початок процесу при показнику асиметрії більше двох різко знижує зчеплення покриттів зі сталлю, що може спричинити за собою їх відшаровування в експлуатаційних умовах. Нами отримано залежності впливу легуючих добавок на міцність зчеплення покриттів (рис. 1).

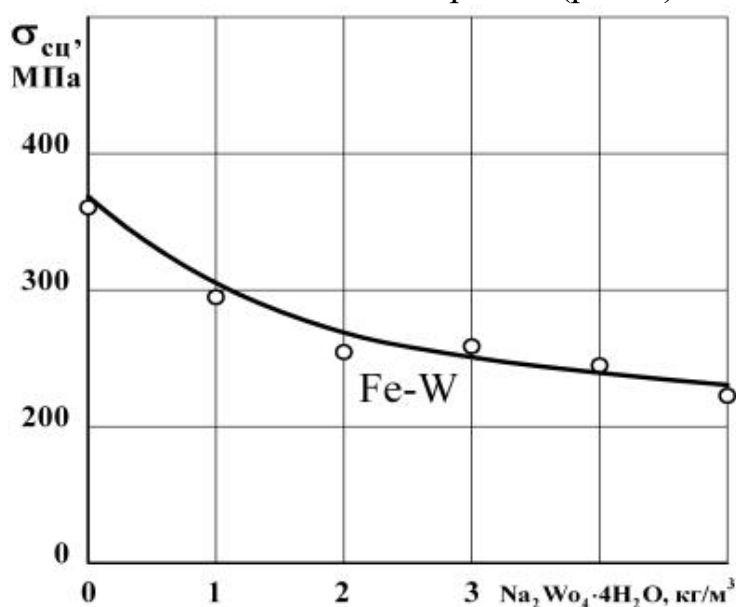


Рисунок 1 – Залежність міцності зчеплення електролітичних сплавів від концентрації легуючих добавок

Встановлено, що при підвищенні концентрації легуючого компонента, що збільшує поляризацію катода, знижує міцність зчеплення покриттів з основним металом. Цей зв'язок визначається тим, що підвищення поляризації катода призводить до осадження покриттів, що мають дрібнодисперсну структуру, що забезпечує підвищену твердість і крихкість шару, прилеглого до основного металу.

Порівняльні дослідження зносостійкості залізних покриттів, отриманих на постійному і асиметричному струмі, показали, що покриття, осаджені при нестационарних умовах електролізу, мають більш високу зносостійкість. Зміна показника асиметрії від 3 до 6 дозволило знизити знос досліджуваних покриттів. Основна роль в цьому відводиться процесу формування високодисперсної структури покриттів з підвищеною твердістю.

За даними проведених досліджень найбільшу зносостійкість мають покриття при наступному змісті легуючих елементів: для сплаву Fe-Mo – 1 % Mo; для сплаву Fe-W – 2 % W; для сплаву Fe-P – 2,5 % P (рис. 2).

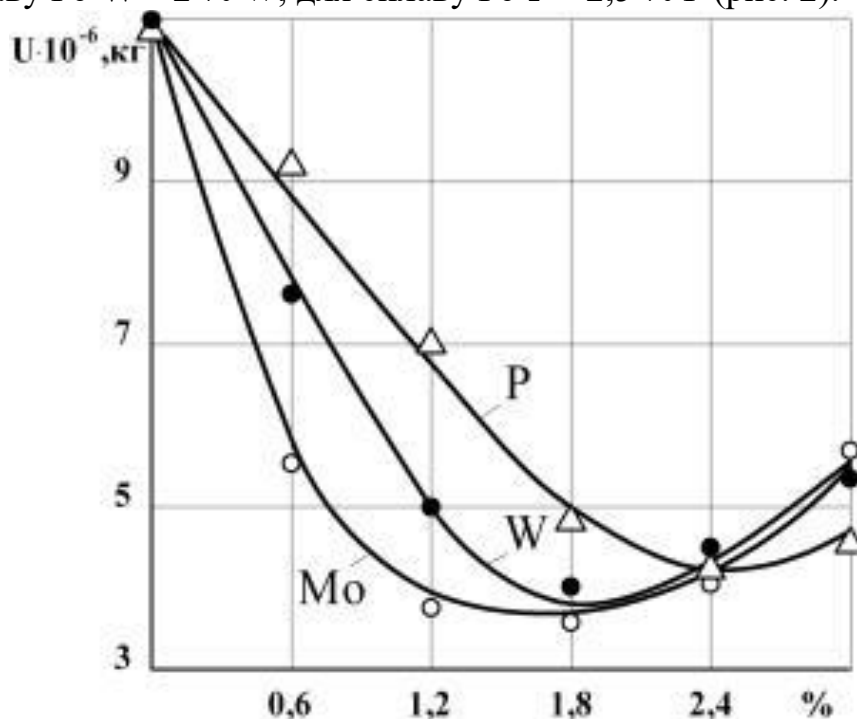


Рисунок 2 – Залежність зносу від змісту сплавів легуючих елементів

Залежність зношування двохкомпонентних покриттів від параметрів електролізу мають вигляд:

$$I_{Fe-P} = 16.5 + 53 \cdot C_P^2 + 2.1 \cdot 10^{-3} \cdot D_k^2 + 135 \cdot \beta^2 - 0.84 \cdot C_P - 0.12 \cdot D_k - 1.78 \cdot \beta + 11.8 \cdot 10^{-3} \cdot \beta \cdot C_P \quad (6)$$

$$I_{Fe-W} = 27.17 - D_k^2 \cdot 10^{-4} + 0.75 \cdot C_W^2 + 0.37 \cdot \beta^2 - 5.5 \cdot C_W - 4.6 \cdot \beta + 0.14 \cdot \beta \cdot C_W - 23 \cdot 10^{-3} \cdot C_k^2 \quad (7)$$

$$I_{Fe-Mo} = 25.6 + 130 \cdot 10^{-3} \cdot \beta^2 + 13.23 \cdot C_{Mo}^2 + 0.14 \cdot 10^{-3} \cdot D_k^2 - 3.17 \cdot pH^2 - 0.51 \cdot C_k + 0.65 \cdot C_{Mo} \cdot \beta - 0.05 \cdot D_k \cdot C_{Mo} - 2 \cdot \beta - 27.2 \cdot C_{Mo} \quad (8)$$

Таблиця 2 – Оптимальні режими і властивості легованих сплавів залізних покриттів

Покриття	Склад електроліту	Режим нанесення			Швидкість осадження, мм/год	Властивості покриттів	
		Температура електроліту, К	Щільність струму, А/дм ²	Катодно-анодний показник		Зчеплюваність, МПа	Мікротвердість, МПа
Залізо-фосфор	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 0,7 г/л; гіпофосфат натрію 8г/л.	313	40	5	0,3	300	7500
Залізо-вольфрам	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 1,0 г/л; лимонна кислота 12 г/л; вольфрамо-кислий натрій 8г/л.	313	40	5	0,3	300	8200
Залізо-молібден	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 1,5 г/л; лимонна кислота 12 г/л; молібдат-амонія 8г/л.	313	40	5	0,35	300	8300
Залізо-бор	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 1,0 г/л; борна кислота 50г/л.	313	40	5	0,35	300	9000
Залізо-титан	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 1,0 г/л; титан щавелево-кислий 2.0г/л.	313	40	5	0,3	300	8200
Залізо-кобальт	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 1,5 г/л; кобальт-хлористий 40г/л.	313	50	6	0,4	350	8500
Залізо-алюміній	Хлористе залізо 350г/л; соляна кислота 1,0 г/л; хлористий алюміній 350г/л; хлористий калій 90г/л.	313	40	6	0,35	350	8000
Залізо-ванадій	Хлористе залізо 400г/л; соляна кислота 1,8 г/л; метаванадій амонія 25г/л.	313	50	5	0,3	300	8500

Для остаточної рекомендації щодо вибору найбільш зносостійких покриттів нами проведені порівняльні дослідження їх зносостійкості. Більшість відповідальних деталей машин виготовляється із сталі 45 з наступною термообробкою, тому нами в якості еталона при порівняльних випробуваннях матеріалів на зносостійкість була обрана сталь 45. Матеріали досліджувалися в парах тертя з чавуном і бронзою. Результати представлені на рис. 3.

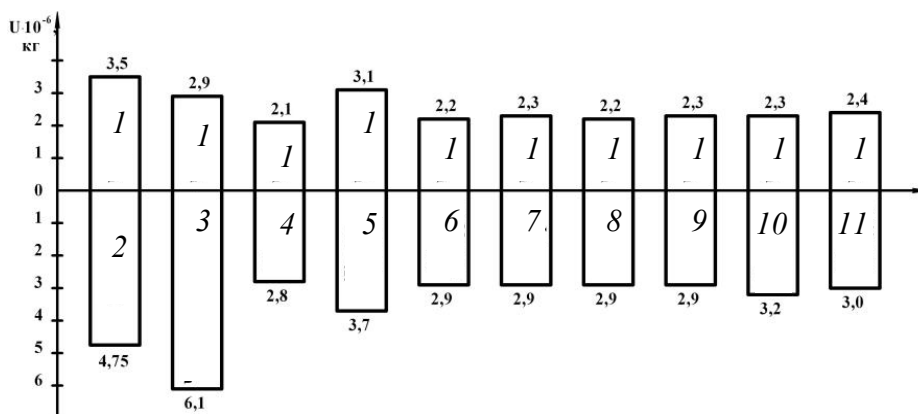


Рисунок 3 – Результати порівняльних випробувань покриттів на зносостійкість: 1 – чавун; 2 – сталь 45; 3 – чисте електролітичне залізо; 4 – залізо молібден; 5 – залізо фосфор; 6 – залізо-вольфрам; 7 – залізо бор; 8 – залізо титан; 9 – залізо кобальт; 10 – залізо-алюміній; 11 – залізо-ванадій

В результаті проведених експериментів виявлено, що найменший знос і кращу припрацьовуваність мали сплави Fe-Mo, потім сталь 45, загартована за допомогою нагрівання СВЧ з подальшим низькотемпературним відпусткою і електролітичне залізо. При випробуванні в парі з чавуном знос всіх покриттів був нижче, ніж в парі з бронзою. Зносостійкість електроосажденного легованого заліза сталі 45 складала: для сплаву Fe-Mo – 170 % при роботі в парі з чавуном і 156 % – в парі з бронзою; для сплаву Fe-W – 165 % при роботі в парі з чавуном і 153 % – в парі з бронзою; для сплаву Fe-P – 121 % при роботі в парі з чавуном і 112 % – в парі з бронзою. Отримані дані вказують на доцільність легування електролітичного заліза молібденом, оскільки воно при граничному терті має недостатньо високі міцнісні показники. На нашу думку, при граничному терті збільшується інтенсивність утворення окисних плівок при високій швидкості їх руйнування. Це підтверджується тим, що при найменших значеннях температури і коефіцієнта тертя електролітичне залізо має найбільший знос.

Були проведені порівняльні ударні випробування зразків. Досліджувалася ударна в'язкість зразків зі сталі 40X з железомолібденовими покриттями і зміцнені ціануванням. Результати ударних випробувань показали, що покриття зразків легуваними сплавами практично не призводить до підвищення роботи зламу зразків, їх ціанування цю роботу знижує. Ударна в'язкість зразків з легуючими покриттями практично не змінилася у порівнянні із зразками із сталі 40X після гарту. Результати порівняльних стендових досліджень агрегатів з експериментальними деталями приведені в таблиці 3.

Таблиця 2.3 – Зношування деталей з'єднання "вал-втулка" (після 80 мот-год)

Покриття	Зношування деталей, мм	
	Вал	Втулка
Серійні деталі	0,0065	0,0057
Залізо-молібден	0,0056	0,0054
Залізо-молібден+ціанування	0,0048	0,0056

Експлуатаційні випробування агрегатів з експериментальними деталями, відновленими залізо-молібденовим покриттям були проведені та представлені на рис 4.

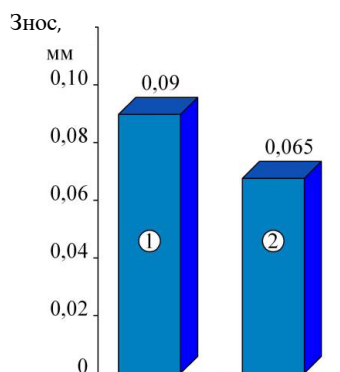


Рисунок 4 – Зношування валу після експлуатації (1500 мото-год): 1 – серійні деталі; 2 – з залізо-молібденовим покриттям.

Експлуатаційній перевірці були піддані також відновлені залізо-молібденові покриття штовхачі і штоки клапанів, розподільчий вал двигунів автомобілів КамАЗ-4310 (табл. 4).

Таблиця 4 – Результати експериментальних досліджень

Деталь	Знос, мкм	
	Серійні	Експериментальні
Штовхач клапана	30,0	19,0
Шток клапана, двигуна	28,0	18,0
Розподільчий вал	14,0	9,0
Нижня головка шатуна	13,0	8,0
Первинний вал КПП	19	16
Вторинний вал КПП	21	17

Висновки:

– в якості зміцнюючих технологій при ресурсній модернізації техніки значні можливості має легування залізних покриттів різними добавками і їх подальша хіміко-термічна обробка. Однак, як показали результати моніторингу, проведеного за певними методиками оцінки стану технологічних процесів, в даний час на ремонтних підприємствах використовуються в основному прості електроліти для нанесення залізних покриттів. Їх можливості по підвищенню зносостійкості відновлюваних деталей обмежені.

– запропоновано оцінювати технічний рівень технологій відновлення деталей гальванопокриттями з комплексного показника, що враховує їх довговічність і витрати виробництва, що включають витрати на забезпечення екологічної безпеки.

– теоретично описано вплив легуючих добавок в електроліт і режимів електролізу на фізико-механічні властивості покриттів. Легування залізних покриттів невеликою кількістю молібдену, вольфраму, фосфору та інших елементів сприяє подрібненню блокової структури і підвищують мікротвердості осаджень до 8000...8300 МПа, проти 5000 МПа у чистого заліза, що позитивно відображається на зносостійкості покриття.