

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення експлуатаційної ефективності плунжерних пар
паливних насосів високого тиску»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 4
Мартиненко Владислав Іванович
Керівник: Дудніков І. А.
Рецензент: Келемеш А. О.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Одне з найважливіших завдань ремонтного виробництва сільськогосподарської техніки полягає в підвищенні довговічності машин і механізмів.

Експлуатаційна надійність елементів паливної арматури дизельних двигунів в значній мірі визначає екологічну безпеку двигуна, стабільність і безвідмовність його роботи, а також його експлуатаційно-економічні показники.

Знос плунжерних пар дизельного двигуна сільськогосподарської техніки є причиною відмови системи живлення в 30 - 50% випадків всіх відмов силових установок. Це викликано високим тиском при прокачуванні палива, якістю застосовуваних матеріалів при виготовленні вузлів, якістю збірки, заклинюванням і т.д. Але головна причина полягає в якості використовуваного дизельного палива, яке в своєму складі має тверді механічні частинки, що веде до появи ефекту абразивного зношування.

З огляду на те, що для виготовлення плунжерних пар застосовується високолегована сталь, а самі вони є прецизійними деталями, що накладає високі технологічні та економічні вимоги до їх виробництва видно, що їх відновлення призведе до значної економії матеріальних і тимчасових витрат.

Основними способами відновлення працездатності плунжерних пар паливних насосів високого тиску (ПНВТ) є шліфування під ремонтний розмір з подальшою контактною приваркою сталеві стрічки, індукційна відцентрова наплавка, термопластичне деформування, електродугова металізація. Всі перераховані вище методи вимагають обов'язкової фінішної операції шліфування, яка будучи за своєю суттю високотемпературним методом впливу, веде до утворення на відновленій поверхні мікротріщин, які, будучи концентраторами напружень приводять до відколів і викришування на робочій поверхні деталей. Це веде до заклинювання плунжерної пари і, як

наслідок, повного виходу з ладу ПНВТ. При цьому необхідно пам'ятати, що всі високотемпературні процеси ведуть до подальшого викривлення і, як наслідок, до просторових деформацій відновлюваних вузлів, що в значній мірі знижує їх ресурс, а це небажано для прецизійних деталей до числа яких належить плунжерні пара ПНВТ.

З огляду на вищесказане, ясно, що найбільш перспективними способами відновлення для плунжерних пар ПНВД повинні бути процеси, що протікають при низьких температурах і мінімізують, а в ідеалі виключають подальшу механічну обробку. До таких методів в першу чергу можна віднести гальванічні засоби відновлення і в першу чергу хромування.

Метою роботи є підвищення експлуатаційної ефективності плунжерних пар ПНВТ дизельних двигунів сільськогосподарської техніки при відновленні.

Об'єктом дослідження є композитні гальванічні покриття нанесені способом гальваноконтактного осадження (ГКО) на зношену поверхню.

Предмет досліджень – фізико-механічні характеристики композитних гальванічних покриттів.

Методика досліджень. Дослідження проводилися з використанням методів системного аналізу, теорії електрохімічного формоутворення і забезпечення необхідної якості поверхневого шару. Експериментальні дослідження і обробка отриманих даних проводилися з використанням сучасних методик. Результати досліджень оброблялися з використанням методів дисперсійного та регресійного аналізу.

Теоретична и практична значущість роботи полягає в обґрунтуванні і розробці технології нанесення композитних гальванічних покриттів. Розроблено технологію, що дозволяє отримувати герметичні, безпористі, композитні покриття на основі хрому.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Особливості експлуатації плунжерних пар

На сучасному етапі 92% сільськогосподарської техніки використовують в якості силової установки дизельні двигуни.

Найбільш часті відмови припадають на систему живлення двигуна, однією з відповідальних елементів якої є плунжерні пара ПНВТ. Зниження ефективності її роботи призводить до падіння потужності двигуна, зниження ресурсу циліндропоршневої групи (ЦПГ) внаслідок прискореного утворення нагару, викликаного порушенням подачі палива в камеру згоряння, зносу кривошипно-шатунного механізму внаслідок нерівномірних динамічних навантажень [2].

Плунжерні пари дуже чутливі до якості дизельного палива і, особливо наявності в ньому механічних домішок, тому що технологічний зазор між поршнем і гільзою становить 0,6 - 2 мкм. Попадання твердих включень, що знаходяться в паливі між рухомими частинами плунжерній пари веде до значного їх зношування і, як наслідок, виходу плунжерній пари і ПНВТ з ладу [3].

У сучасному виробництві плунжерні пари ТНВД виготовляють з сталей 30ХГСА, 38Х2МЮА і т.д. [3]. Фізико-механічні властивості і хімічний склад матеріалів найбільш часто вживаних для виготовлення плунжерних пар, представлені в таблицях 1.2 і 1.3 [4]. Вибір даних типів сталей для виробництва обумовлений необхідністю забезпечення високої твердості, контактної зносостійкості, підвищеної корозійної стійкості, невисокою чутливістю до підвищеного тиску і температури.

Умови роботи плунжерній пари ПНВТ накладають на неї підвищені вимоги до міцності елементів, мікрогеометрії робочої поверхні, стабільності геометричних параметрів елементів, що сполучаються, допустимим монтажним і термічним деформацій.

При стандартних методах відновлення ці вимоги забезпечуються введенням додаткових методів обробки, які не тільки подовжують цикл технологічного процесу, а й значно підвищують собівартість відновлення.

Згідно з технологічними рекомендаціями плунжер повинен вільно переміщатися у втулці, не дивлячись на жорсткі вимоги по робочому зазору. Тому висуваються жорсткі вимоги щодо якості поверхневого шару контактуючих елементів плунжерної пари, згідно з яким твердість повинна бути не нижче HRC 58, шорсткість поверхні $Ra \leq 0,04$ мкм, відхилення від циліндричної не більше 0,001 мм, некруглість не більше 0,0005 мм, конусність не більше 0,0006 мм на робочій довжині 20 мм.

З огляду на вищесказане, ясно, що до матеріалів і технологій, що застосовуються при виготовленні плунжерних пар ПНВТ, пред'являються високі вимоги. При розробці технології також необхідно враховувати характер і величину зносу габутого деталями плунжерної пари в процесі експлуатації.

1.2. Аналіз експлуатації плунжерних пар

Плунжерні пари експлуатуються в умовах підвищеного тиску робочого середовища, високої її швидкості протікання, а також наявності механічних домішок в переміщуваних середовищах.

Основним чинником, що викликає знос елементів плунжерній пари є наявність механічних домішок в перекачуваному паливі.

Слід зазначити, що в процесі експлуатації плунжерних пар відбувається абразивне стирання робочих поверхонь внаслідок попадання

твердих частинок в робочий зазор між поршнем і втулкою і гідроабразивний знос, викликаний впливом частинок домішки палива при їх швидкісному русі відносно робочих поверхонь.

Гідроабразивний знос викликаний спільною дією палива і твердих частинок, що знаходяться в ньому. Механізм зносу полягає в зрізанні мікрошарів, вимивання порушених шарів матеріалу і впровадження рідини в дефектні осередки на поверхні деталі.

Абразивне зношування має місце в тому випадку, коли розмір твердих частинок в перекачується паливі перевищує зазор в плунжерній парі. В цьому випадку частинки не тільки виступають в ролі різців, що зрізують стружку з робочих поверхонь, але можуть і перекочуватися в зазорі між поршнем і втулкою тим самим пластично деформуючи робочі поверхні плунжерній пари [5, 6].

При цьому в більшій мірі абразивному зношуванню, як правило піддаються поверхні, що сполучаються, а гідроабразивному зношуванню тільки ділянки, що стикаються з рухомим паливом.

Особливість зносу плунжерних пар проявляється в утворенні зон підвищеного зносу, які отримали назву місцевих зносів, які не охоплюють всю поверхню плунжерної пари. Так, у гільзи найбільший знос спостерігається вище впускного і нижче перепускного вікна, а у плунжера в зонах безпосередньо у впускного вікна і у відсічної кромки.

Розташування цих зон зносу не випадково і пояснюється найбільш інтенсивним протіканням палива в моменти нагнітання і перетікання його в кінцевому моменті нагнітання.

Найбільшому зносу піддається частина плунжера, що примикає до впускного вікна гільзи. Величина зносу безпосередньо біля кромки досягає 30 - 35 мкм, а на відстані 1 мм від кромки 20 - 25 мкм. По ширині знос досягає 7,5 мм по колу плунжера симетрично щодо впускного вікна, а по довжині знос досягає 9 - 10 мм від верхнього краю.

Особливістю виникнення місцевих зносів можна назвати утворення западин зі зростаючою глибиною до крайок у плунжера і у гільзи. Це свідчить про наявність процесу гідроабразивного зношування.

На підставі вищесказаного логічно уявити, що процес зношування плунжерної пари протікає за наступною схемою. У початковий момент часу подачі палива (рис. 1.1а) абразивні частинки, що знаходяться в ньому, піддають зносу кромку впускного вікна гільзи і кромку плунжера навпроти вікна гільзи. У момент часу, відповідно початку нагнітання палива (рис 1.1б), процесу нагнітання (рис. 1.1в) і при відсіченні подачі (рис 1.1 г) знаходяться в паливі і рухомі разом з ним тверді частинки піддають зносу кромки вікон гільзи і плунжера. Частинки, що потрапили в технологічний зазор плунжерної пари, піддають абразивному зношуванню циліндричну поверхню плунжера і гільзи. У циклі відсічення подачі (рис. 1.1г) струмінь палива завихряється при виході з перепускного вікна.

Це призводить до того, що абразивні частинки, що містяться в паливі, вдаряються об поверхню плунжера, що знаходиться вище відсічної кромки. Внаслідок цього на плунжері утворюються численні мікроскопічні вм'ятини. Паливо, що рухається з великою швидкістю розмиває дефектні осередки, до яких відносяться мікроскопічні вм'ятини. В процесі експлуатації плунжерної пари разом з паливом в технологічний зазор потрапляють абразивні частинки (рис 1.1в). Частинки, що мають розмір менше технологічного зазору між гільзою і плунжером, рухаючись разом з паливом, наносять подряпини на поверхню плунжера і гільзи. Більш великі частинки розклинає в зазорі плунжерної пари і вони зношують робочі поверхні деталей в результаті абразивного зношування з утворенням борозенок напрямком яких збігається з напрямком руху плунжера рис 1.2.

Необхідно відзначити, що за інших рівних умов швидкість зношування плунжерної пари ПНВТ зростає при збільшенні протікання палива через зазори.

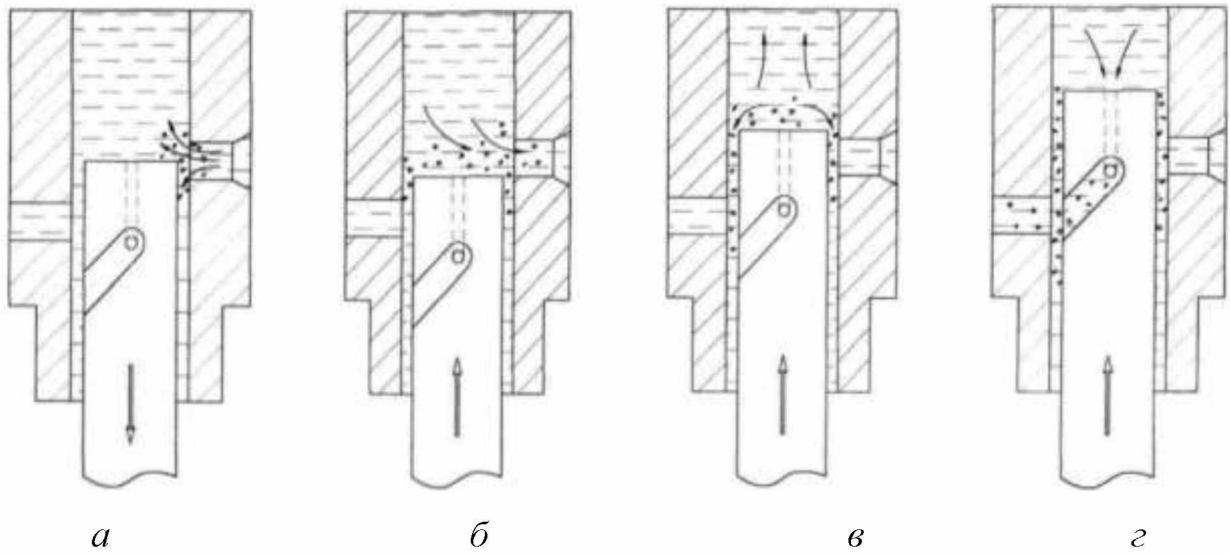


Рисунок 1.1 – Схема зносу: *а* - момент часу подачі палива; *б* - початок нагнітання палива; *в* - момент нагнітання палива; *г* - момент відсічення подачі

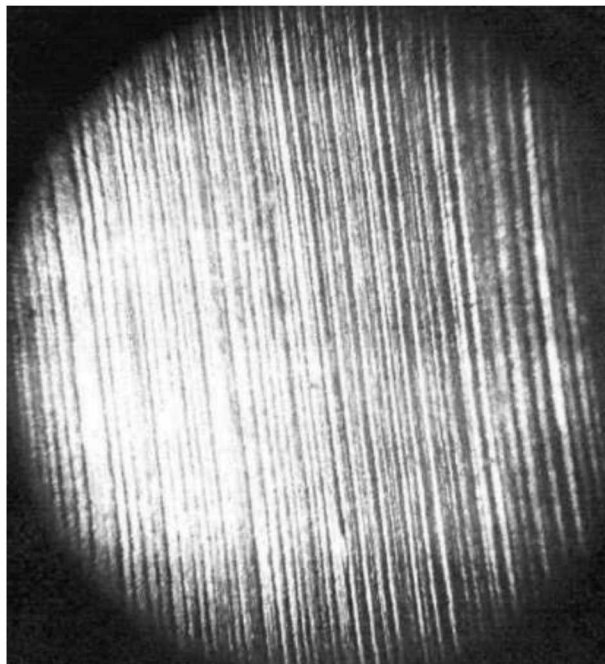


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд поверхні плунжера після експлуатації (x80) [7]

Представлений механізм зношування плунжерної пари ПНВТ пояснює всі розглянуті вище особливості зносу. Однак, до всього вищесказаного

необхідно додати, що крім абразивних частинок, які впливають на довговічність плунжерної пари в паливі ще знаходиться вода, присутність якої сприяє утворенню електролітів водорозчинних кислот, що викликають активну корозію сталевих деталей [8].

Підводячи підсумки сказаного видно, що знос деталей носить складний гідроабразивний характер. За статистикою плунжер зношується в 1,5-2 рази більше, ніж втулка, і величина його зносу не перевищує 40 мкм.

У зв'язку з цим технологія відновлення плунжерних пар ПНВТ повинна забезпечувати отримання поверхневого шару з високою корозійною стійкістю, товщиною не менше 40 мкм і мікротвердістю не менше 12000 МПа, щоб перевершити мікротвердість домішок палива.

1.3. Методи відновлення і зміцнення деталей плунжерних пар

Сучасне ремонтне виробництво має ряд способів відновлення і зміцнення плунжерних пар паливних насосів [1, 4, 9, 10]:

- перекомплектовка;
- виготовлення ремонтної деталі;
- пластичне деформування втулки плунжера;
- хімічне нікелювання;
- повторне азотування;
- дифузійне хромування плунжера;
- борировання втулки і плунжера;
- сульфоборировання;
- хромування плунжера.

Перекомплектовка. Цей вид ремонту полягає в притиранні, сортуванні на групи, підборі і взаємного притирання плунжерних пар [11]. При всій простоті застосування даного методу він має цілий ряд недоліків, що обмежують його широке застосування, а саме: він дозволяє відновити всього

10-15% всіх деталей, придатних до відновлення [11]. Коефіцієнт зносостійкості плунжерних пар по відношенню до серійних становить 0,85 ... 0,95 [12]. Корозійна стійкість не змінюється.

Спосіб виготовлення ремонтної деталі [1, 11, 12] полягає у виготовленні нової деталі з двох спряжених. Зношену деталь, піддають механічній обробці. Так, з втулки видаляються сліди зносу, виготовляється новий плунжер і притираються з втулкою. Недоліками цього способу є необхідність застосування дорогого устаткування, витрата нових матеріалів, що незмінно веде до підвищення собівартості відновлення. Все це в комплексі робить спосіб малоефективним для відновлення плунжерних пар.

При відновленні плунжерних пар пластичним деформуванням зазвичай відновлюють втулку, зменшуючи її внутрішній діаметр з підігрівом металу до температури 600 ... 650°C а потім проводять доведення отвору. Зношені плунжери піддають шліфуванню, а потім притирання за місцем відновленої втулки. Даний метод не отримав широкого застосування через дорожнечу обладнання, що застосовується, зміни фізико-механічних властивостей і структури поверхневого шару деталей, значного відсотка браку і енергоємності процесу.

Хімічне нікелювання. Суть методу полягає в осадженні нікелю з хімічного розчину [13] без застосування електричного струму [6, 20, 28]. Незважаючи на те, що покриття, отримані цим методом мають гарну рівномірність, твердістю до HRC 65 - 67 він не знайшов поширення на ремонтних підприємствах галузі в зв'язку з тим, що процес має низьку стабільність, великі втрати нікелю, покриття мають низьку адгезію до основи, схильні до лущення і відшарування, після відновлення деталі в обов'язковому порядку піддаються механічній обробці при якій брак відспучування покриття досягає 42% [14].

Повторне азотування. Метод заснований на властивостях зміни розмірів деталі в результаті структурних перетворень при дифузії азоту [15].

В даний час даний спосіб практично не застосовується внаслідок того що володіє тривалістю процесу (25 ... 30 год.) Проводиться при температурі 440 ... 460°C, що викликає викривлення деталей, володіє нестабільністю відновлюваних розмірів, нерівномірністю азотованого шару по товщині і вимагає складного в технологічному плані і дорогого устаткування.

Дифузійне хромування плунжера полягає в насиченні поверхневого шару сталевих деталей хромом при високих температурах (950 ... 1300°C) [16]. Незважаючи на те, що цим методом можна отримувати покриття з високою зносостійкістю, гарну адгезію і задовільною корозійну стійкість, він не знайшов поширення при відновленні плунжерних пар в зв'язку з тим, що володіє великою тривалістю процесу, дозволяє створювати малу товщину дифузійного шару і викликає значне викривлення деталі в процесі дифузійного хромування.

Борировання втулки і плунжера полягає в насиченні поверхневого шару деталі бором для підвищення його твердості, зносо- і корозійної стійкості [17]. Застосування методу досить обмежене внаслідок значної тривалості процесу (6-8 год.), викривлення деталей в процесі нанесення покриття і високу крихкість поверхневого шару.

Сульфоборировання – процес сульфідкування сталевих деталей з додаванням в розчин бури [18]. Застосування досить обмежене незважаючи на те, що твердість поверхні після відновлення може досягати 13000 МПа, тому що поверхневий шар, відновлений даним способом має вкрай низьку корозійну стійкість і малу товщину.

Хромування. Електролітичний хром відрізняється за своїми властивостями від хрому, отриманого металургійним шляхом. Його особливістю є залежність властивостей від режиму осадження [19].

Структура електролітичного хрому характеризується наявністю двох видів кристалічної решітки: кубічної об'ємно-центрованої і щільноупакованої гексагональної [19].

Питома частка кожного виду в покритті залежить від режиму хромування. При високій щільності струму і підвищеній температурі електроліту утворюється переважна кубічна структура, при низьких щільності струму і кімнатній температурі електроліту утворюється, в основному, гексагональна структура. Остання стійка при температурах нижче 25°C. Вище вона поступово переходить в стійку кубічну форму, зменшуючись в об'ємі приблизно на 16% [20].

Залежно від режиму хромування утворюються чотири основних види хромових покриттів: блискучий, матовий, молочний і сірий хром. Сірий осад хрому є специфічним для тетрахроматних ванн, що працюють при кімнатній температурі, і утворюється при всіх щільностях струму, рекомендованих для цього електроліту. Він має однорідну гладку поверхню сірого кольору.

Твердість хрому, в основному, залежить від температури електроліту і щільності струму. Різні види хромових покриттів мають таке значення твердості, МПа: блискучий і сріблясто-матовий – 7500-11000; молочний – 5400-6000; сірий – 3500-4000; відпалений хром – 3500-4000 [9, 17].

Найбільш тверді хромові покриття значно перевищують по твердості загартовані (5000 МПа) і азотовані (7500 МПа) сталі [17]. Нагрівання хромового покриття зменшує його твердість, причому до 250-300°C це зниження незначне [10]. Міцність хромових покриттів характеризується такими їх показниками, як модуль пружності, межа міцності, зчеплення з основою. Значення цих показників для основних видів хромових покриттів, встановлені за методикою [10].

Хромування дозволяє в широких межах змінювати мікротвердість осадів від 5000 до 10000 МПа при цьому можлива значна зміна зносостійкості [17].

З огляду на вищевикладене, можна сказати, що достоїнствами хромування є: можливість отримання покриттів з високою твердістю і хорошими експлуатаційними показниками, можливістю виключити з циклу

технологічного процесу важкооброблювані дорогі матеріали, відсутність високотемпературного впливу на деталь, що не викликає її викривлення і зміни фізико-механічних властивостей і структури.

У той же час хромування має масу недоліків: низьку продуктивність, слабку адгезію покриття до основи, малу корозійну стійкість покриття внаслідок наявності розвиненої сітки пор і тріщин в покритті за якими волога проникає до основи. Автори [3, 7, 16] стверджують, що це знижує зносостійкість покриття, веде до його спучування і відшарування і, як наслідок, заклинювання робочих органів. Цей процес може ускладнюватися тим фактором, що тверді частинки, що знаходяться в перекаченому паливі застряють в порах і тріщинах покриття і додатково сколюють його або зношують втулку плунжера.

На підставі вищевикладеного можна стверджувати, що сучасні способи відновлення мають багато недоліків, що не дозволяють в повній мірі відновити експлуатаційні властивості плунжерних пар.

Висновки, мета і завдання досліджень

Ресурс плунжерної пари безпосередньо залежить від фізико-механічних властивостей поверхневого шару плунжера і гільзи, а також від мікрогеометрії поверхні;

Характер зносу плунжерних пар полягає в утворенні зон підвищеного зносу, які отримали назву місцевих зносів, які не охоплюють всю поверхню плунжерної пари, що при наявності відповідних технологій дозволяє вести «місьцеве» відновлення значно більш економічне, ніж стандартне.

Для забезпечення задовільної зносостійкості плунжерних пар, твердість поверхневого шару контактованих поверхонь повинна бути не менше 12000 МПа.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

1. На підставі літературних даних вивчити причини відмов сільськогосподарських машин через вихід з ладу плунжерних пар ПНВТ і способи їх відновлення;

2. Обґрунтувати теоретично можливість забезпечення необхідної зносостійкості плунжерних пар ПНВТ при відновленні їх гальванічним композитним покриттям.

3. Визначити раціональні режими нанесення гальванічного композитного покриття на основі хрому.

4. Виконати економічне обґрунтування запропонованої технології.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма досліджень

З огляду на цілі, поставлені в роботі, була прийнята наступна програма досліджень:

- дослідження режимних параметрів осадження гальванічних композитних покриттів на основі хрому на фізико-механічні властивості осадів;
- дослідження мікроструктури покриттів;
- стендові випробування ПНВТ з плунжерними парами, відновленими за пропонованою технологією.

З метою забезпечення експериментальної чистоти і усунення випадкових похибок експерименту, приймалися такі заходи:

- зразки для випробувань в межах однієї групи виготовлялися зі сталі однієї марки і однієї плавки;
- покриття наносилися на одному обладнанні з електролітичної ванни одного складу при строгому дотриманні технології;
- протягом усього експерименту температура в приміщенні підтримувалася на рівні $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря $55\pm 5\%$;
- коригування електроліту проводилося щодня перед початком роботи

2.2. Вимоги до процесу нанесення гальванічних композитних покриттів

Необхідні умови процесу:

- підтримка концентрації робочого середовища в заданих межах;

- дотримання відповідності величини режимних параметрів процесу значенням, визначаються технологією;
- контроль ступеня зносу інструменту.

Одним з найбільш важливих моментів при нанесенні гальванічних покриттів є якість підготовки відновлюваної поверхні і подальша фінішна обробка нанесеного шару [21]. Однак варто зауважити, що механічна обробка поверхні деталі має низку істотних недоліків.

Даний процес має високий ступінь вибраковування деталей, що досягає величини 97% для товстошарових покриттів [21]. Крім того, механічна обробка веде до появи в товщі шару, що наноситься мікротріщин, що є причиною утворення тріщин покриття, що наноситься і появи в ньому пористості [22]. Цей факт робить неможливим використання даних деталей в агресивних середовищах, коли до деталей пред'являються вимоги корозійної стійкості [3].

У зв'язку з цим метою роботи буде розробка методу нанесення хромових покриттів на поверхні плунжерній пари ПНВТ, при якому механічна обробка, як до нанесення гальванічного шару, так і після нього буде або усунена, або зведена до мінімуму при строгому дотриманні режиму осадження гальванічного композитного покриття.

2.3. Технологічне оснащення для реалізації методу

Вибір матеріалу зміцнюючої фази гальванічних композитних покриттів ґрунтувався на наступних основних положеннях:

- наповнювач повинен мати достатню твердість з метою підвищення мікротвердості отриманого композитного покриття;
- частинки зміцнюючої фази композитного покриття повинні мати високу хімічну стійкість до компонентів робочого середовища;

- ультрадисперсний порошок, який використовується для отримання композитних гальванічних покриттів повинен бути діелектричним матеріалом з метою підвищення рівномірності одержуваних покриттів.

З огляду на вищевикладене та ґрунтуючись на літературних даних по виробництву і застосуванню ультрадисперсних матеріалів [23], були відібрані речовини, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фізико-механічні характеристики ультрадисперсних порошків

Властивості ультра дисперсних частинок	Al ₂ O ₃	SiC	TiC	WC
Щільність, г/см ³	3,97	3,21	4,9	15,8
Температура плавлення, °С	2050	2150	3140	2770
Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	–	4,5	7,4-9,3	51-7,2
Питома теплоємність, кДЖ/(кг·К)	0,92	1,76	0,42	0,17
Теплопровідність, Вт/(м·К)	40	45-150	36	–
Електропровідність, см/м	$1 \cdot 10^{-14}$	770	$1,8 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
Мікротвердість, ГПа	25-27	17-19	18-20	21-23
Температура кипіння, °С	2980	2780	4300	6000

Для отримання гальванічних композитних покриттів на основі хрому використовувався дисперсний порошок оксиду алюмінію (Al₂O₃) з розмірами частинок 0,01 – 0,03 мкм.

Для визначення режимних параметрів осадження гальванічних композитних покриттів на основі хрому дослідження проводилися на експериментальних зразках (рис. 2.1), виготовлених зі сталі 30 ХГСА. Зовнішній діаметр зразка становив 10 мм, довжина хромованої частини 45 мм, що відповідає пропорції розмірів, що реалізуються на плунжерних парах ПНВТ дизельних двигунів, що встановлюються на тракторах.

Проводилося дослідження технологічного процесу по відновленню зношених поверхонь деталей з використанням методу гальвано-контактного осадження (ГКО) покриттів, що забезпечує отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів з використанням в якості наповнювача

діелектричних порошків і отримання на відновлюваних поверхнях зносостійких герметичних хромових покриттів, що містять стискаючі залишкові напруження з підвищеною адгезією до основи.



Рисунок 2.1 – Експериментальна гільза

Осадження покриттів проводилося в стандартному електроліті хромування, що містить 200-250 г/л CrO_3 і 2,0-2,5 г/л H_2SO_4 , що має широке застосування на ремонтно-відновлювальних підприємствах [10].

Для проведення експерименту електроліт приготувався з реактивів на дистильованій воді. Щільність електроліту вимірювалася ареометром, кислотність рН - метромілівольтметром моделі рН - 121.

Точність підтримки температури електроліту становила 1К, що досягалася використанням термометра ТПП - 11 ГОСТ 13717 - 74 і контролювалася термометром ТН 5 ГОСТ 400 - 80 з ціною поділки шкали 0,2К. Коригування і аналіз електроліту проводилися за методикою, викладеною в [17].

У зв'язку з тим, що на наявних підприємствах галузі ускладнено отримання щільності струму понад 250 А/дм², максимальна щільність струму для досліджень була обрана 200 А/дм². Обмеження за величиною щільності струму, крім того, викликано тим, що проходження великих струмів

призводить до значного нагрівання деталей, ускладнює створення надійних струмоподводів до них і в результаті, не дозволяє підтримувати в процесі обробки стабільні технологічні режими.

Дослідження були проведені на експериментальній установці для хромування отворів малого діаметра. Установка дозволяє варіювати у великому діапазоні такі параметри, як тиск інструменту, межелектродну відстань, температура електроліту, щільність струму, швидкість головного і допоміжного руху. Загальний вигляд установки показаний на рисунку 2.2.

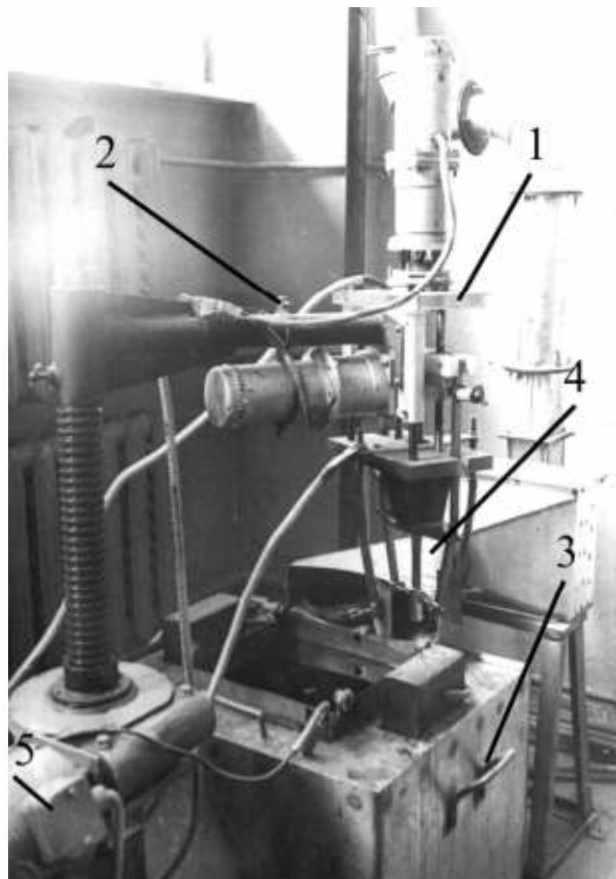


Рисунок 2.2 - Експериментальна установка

Вже згадана установка складається з головки 1, закріпленої на сталевій рамі 2, призначеної для установки обладнання під час монтажу і демонтажу деталей, бака для електроліту 3, фільтра очищення повітря від електроліту 4, приєднаного до витяжної вентиляції.

Бак для електроліту складається з двох частин: внутрішнього бака, виготовленого з титанового сплаву ОТ - 4 і зовнішнього бака, виготовленого зі сталі 12Х18Н10Т. Підігрів універсального електроліту хромування, що знаходиться у внутрішньому баку об'ємом 30 дм³, здійснюється трубчастими нагрівальними елементами ТЕН - 100А 13/4 Р220, які розташовані в зовнішньому баку, заповненому водою. Всі деталі і вузли установки, що лежать нижче дзеркала електроліту, виконані з титанового сплаву або, в разі необхідності ізоляції від дії струму, з фторопласта, оскільки застосовується робоче середовище є агресивною.

Особливістю процесу нанесення композитних гальванічних покриттів є зміна діаметра деталей в процесі обробки. Виходячи з цього композитний інструмент виконаний таким чином, що має можливість як осьового, так і радіального переміщення. У разі недотримання цієї умови можуть виникнути непереборні наслідки. Це пов'язано з наростанням шару осажденого покриття і як наслідок збільшення тиску інструменту на обложений хром, що здатне викликати перезміщення покриття, що наноситься, його спучування і відшарування і, як наслідок, втрату їм необхідних експлуатаційних властивостей. Крім того це призводить до заклинювання і поломки інструменту, або неконтрольованого зростання тиску на поверхню, що підлягає нанесенню покриття.

2.4. Методика проведення експериментальних досліджень

В ході роботи дослідженню піддавався технологічний процес отримання зносостійких гальванічних композитних покриттів на основі хрому методом ГКО з товщиною шару, що наноситься на зовнішні циліндричні поверхні до 40 мкм. При цьому отримане покриття повинне було мати залишкові стискаючі напруження, високі експлуатаційні і фізико-механічні властивості, а також корозійну стійкість.

Швидкість осадження хрому, як один з досліджуваних в даному дослідженні параметрів, спостерігався неруйнівним методом визначення товщини шару, що наноситься, а контролювався методом вимірювання товщини шару з руйнуванням.

Товщину покриття без порушення його цілісності визначали за допомогою кулонометрического товщиноміра Лімеда - ДЕМ. В якості контролю було обрано індукційний магнітний метод, який заснований на вимірюванні магнітного потоку, що проходить в осерді електромагніту. Товщина магнітного потоку так само, як і сила тяжіння магніту, залежить від товщини покриття. При контролі товщини немагнітного покриття на великих сталевих деталях з різними магнітними властивостями доцільно застосування приладів, заснованих на вимірі магнітного потоку в ланцюзі.

Застосовувалася наступна послідовність операцій: деталь знежирювали віденської вапном, промивали і ретельно висушували в сушильній шафі при температурі 105 - 120°C.

Після охолодження деталь зважували і занурювали в відповідний розчин до повного розчинення покриття. Потім деталь промивали водою, знову висушували в сушильній шафі і після охолодження зважували.

Середню товщину покриття (h_{cp} , мкм) при цьому визначається за формулою:

$$h_{cp} = 10000(P_1 - P_2) / (S \cdot d), \quad (2.1)$$

де P_1 і P_2 – маси деталей до і після зняття покриття, г;

S – поверхня деталі, см²;

d – щільність металу покриття, г/см³.

Зважування проводили на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г або на технічних з точністю до 0,01 г в залежності від маси та розміру деталі.

Шорсткість поверхні одержуваних покриттів визначалася на профілографі-профілометрі моделі M252, зовнішній вигляд якого показаний на рисунку 2.3.

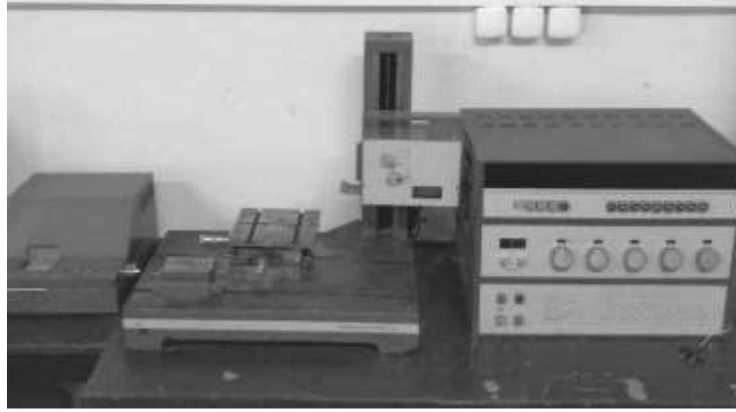


Рисунок 2.3 – Профілограф - профілометр M252

Вимірювання мікротвердості проводилося на мікротвердомірі ПМТ-3, зображеному на рисунку 2.4, при навантаженні на піраміду 0,5 Н. Середнє значення мікротвердості визначалося з 10 вимірювань на поперечному шліфі зразків.



Рисунок 2.4 - Мікротвердомір ПМТ – 3

При роботі плунжерної пари ПНВТ дизельних двигунів основним видом зносу, визначальним працездатність вузла, є тертя ковзання. Найкращим чином даний вид тертя відтворюється на машині тертя МІ - 1М.

Зовнішній діаметр колодки становив 65 мм, внутрішній діаметр шліфувався під розмір дисків, а її ширина дорівнювала 10 мм. У свою чергу диски мали розміри: діаметр 50 мм і ширину 12 мм. Ролики і колодки виконані зі сталі ШХ 15, причому ролики мали твердість HRC 50-55, а колодки піддавалися нанесенню покриття. Досліджувалися зразки з покриттям нанесеним за стандартною технологією і з гальванічним композитним покриттям. Випробування велися в двох середовищах: чистому дизельному паливі та дизельному паливі з домішкою кварцового піску з розміром часток не більше 5 мкм. При цьому його концентрація становила 3% по масі.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Процес отримання зміцнених гальванічних композитних покриттів

Особливість методу отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів полягає у впровадженні твердих включень в гальванічну матрицю при одночасній періодичній пружнопластичній деформації зростаючих шарів покриття в процесі їх осадження за допомогою інструменту. Принципова схема обробки показана на рисунку 3.1. Слід враховувати, що періодичне механічний вплив на зростаючі кристали гальванічного хрому викликає тимчасову зупинку їх зростання в момент проходження зони механічної активації інструментом. Це формує шар композитного покриття. Після проходження інструменту зростання кристалів поновлюється до наступного їх контакту з інструментом, що формує наступний шар гальванічного композитного покриття. З огляду на цю особливість способу, ясно, що на поверхні деталі виходить шаруватий композит [21].

Як наповнювачі використовуються порошки нітриду, карбідів, оксидів, силіцидів і т.д. [22]. Слід зазначити, що в зв'язку з тим, що застосовуються в якості наповнювача матеріали мають різні фізико-механічні властивості, тому впровадженню в покриття піддаються як струмопровідні так і не струмопровідні матеріали.

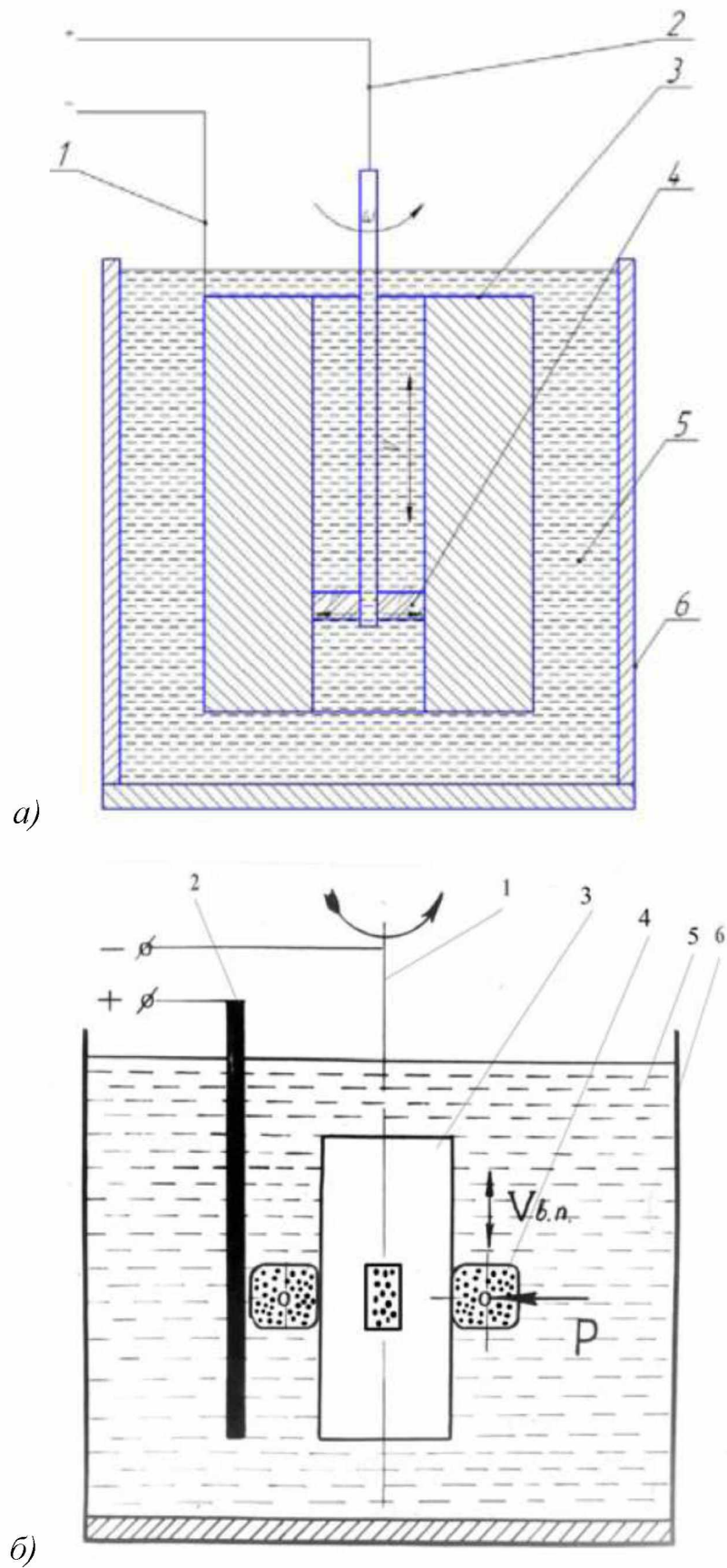


Рисунок 3.1 – Схема нанесення гальванічних композитних покриттів на внутрішні поверхні (а) і на зовнішні поверхні (б): 1 - катод; 2 - анод; 3 - деталь; 4 - інструмент; 5 - електроліт, 6 – бак

У порівнянні зі стандартними гальванічним покриттям металами, гальванічні композитні покриття мають цілий ряд переваг: здатність отримувати покриття з фізико-механічними властивостями не досяжними для звичайних гальванічних покриттів, можливість отримувати гальванічні сплави.

З огляду на вищевикладене, величезний інтерес представляє виявлення механізму отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів.

Можна розглядати три основні стадії:

1. потрапляння частинок на поверхню катода;
2. утримання частинок на катоді;
3. зарощування частинок, що залишилися на катоді.

Попадання частинок на поверхню катода при отриманні дисперснозміцнених гальванічних композитних покриттях відбувається внаслідок прямого контакту інструменту з катодом. Інструмент містить в своєму складі частинки наповнювача, які повинні бути впроваджені в гальванічну матрицю. Контактуючи з поверхнею оброблюваної деталі за рахунок сил тертя тверді частинки відокремлюються від інструменту і залишаються на поверхні катода.

Для отримання гальванічних композитних хромових покриттів тиск інструменту має бути не менше 0,1 МПа, а швидкість його переміщення по поверхні деталі не менше 0,015 м/хв. Утримання частинок на катоді відбувається внаслідок адгезії, електричного взаємодії частинок з катодом, адсорбції і т.д. [24].

Таким чином, ясно, що для утримання часток на відновлюваної поверхні необхідна як сукупність властивостей частки, так і властивості гальванічного матриці і режими осадження.

Етап зарощування частинок, що залишилися на катоді характеризує кількість дисперсних частинок, впроваджених в гальванічну матрицю,

адгезію отриманого композитного покриття і його фізико-механічні властивості.

З огляду на те, що дефекти композитного покриття зароджуються, як правило, на гострих виступах і гранях часток, слід застосовувати по можливості частки кулястої форми.

Отримання ДКП з використання електродпровідних частинок здійснюється за зарощування часток в покритті по всьому його периметру від вершини до основи, а при використанні частинок з малою електропровідністю зарощування починається біля її основи і поступово поширюється на всю частку.

Механізм утворення гальванічних композитних покриттів при використанні наповнювача різної провідності здійснюється наступним чином. Якщо використовуються електропровідні частинки, то при контакті з катодом вона зарощується гальванічною матрицею товщиною δ по всьому периметру контакту з катодом (рис 3.2 а). Покриття, осідають на поверхню деталі, що має пружно-пластичні властивості.

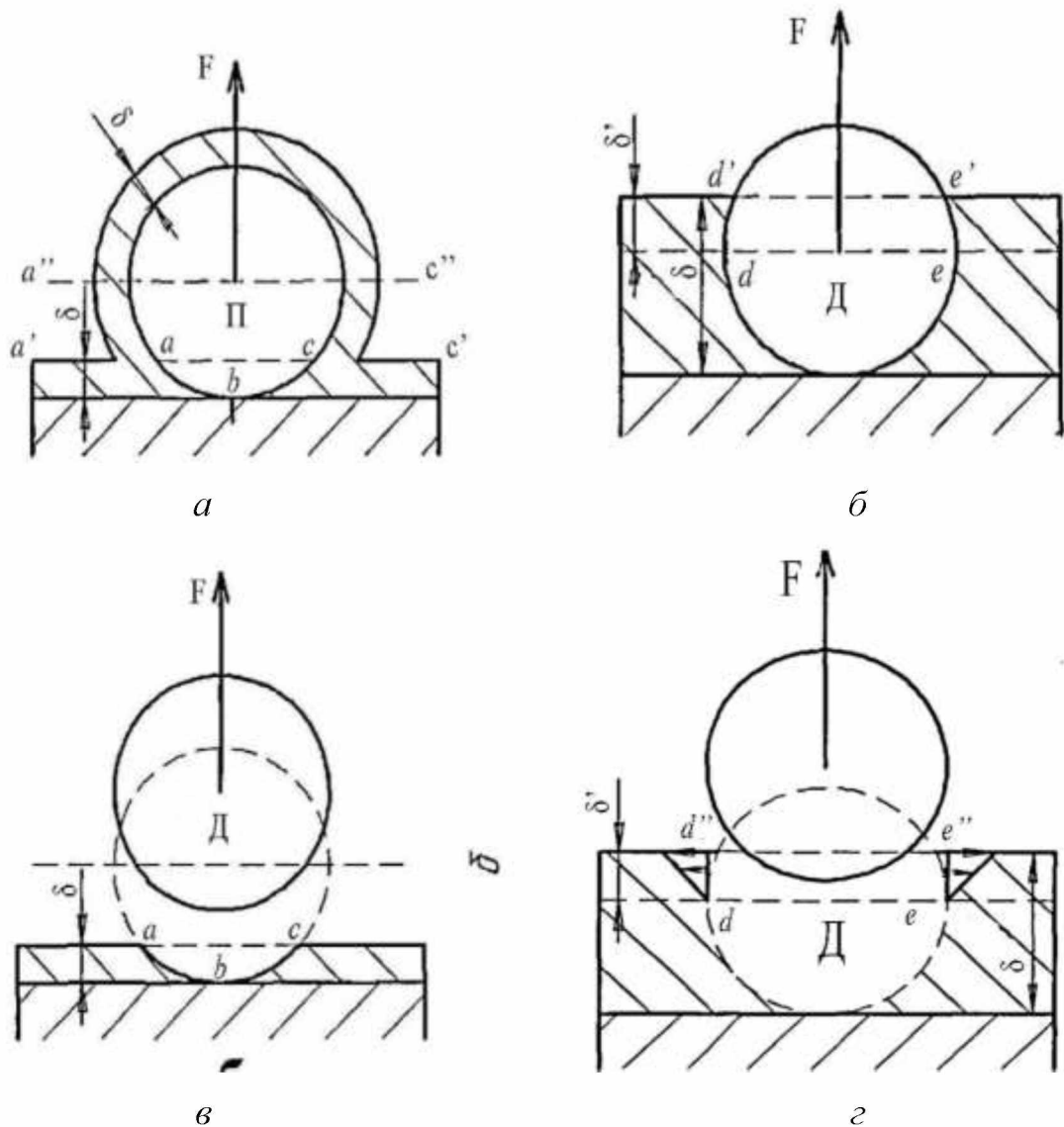


Рисунок 3.2 – Схема утворення гальванічних композитних покриттів при використанні струмопровідного (Π) і діелектричного (Δ) наповнювача

В цьому випадку утримання частки на катоді можливо за умови, що сила реакції f при пружному деформуванні матеріалу покриття інструментом не перевищує міцності шару гальванічної матриці $P_{зм} = \sigma_p F_{зм}$, осадженої по периметру частки π її контакту з нею за час контакту твердої частинки між двома послідовними проходками інструментом даної точки і силу зчеплення f_c частки з покриттям по контуру впровадження abc :

$$f < \sigma_p \pi \delta + f_c, \quad (3.1)$$

де: σ_p – межа міцності матеріалу гальванічної матриці на розрив, МПа;

π - периметр контакту частинки з гальванічною матрицею, м;

δ - товщина шару металу матриці, осідає на частку між двома послідовними проходами інструменту, м.

У разі застосування наповнювача для гальванічної матриці у вигляді діелектричного матеріалу (рис. 3.2 б) частка зарощується не по периметру, а по півсфері, що відповідає контуру впровадження її в електричну матрицю. При цьому висота металу, який утримує частку на катоді дорівнює товщині осажденного шару гальванічної матриці δ .

У разі, коли δ не перевищує половини діаметра впроваджуваної частки, її утримання на катоді практично не можливо через низький зчеплення між гальванічної матрицею і впроваджуваної часткою по контуру впровадження abc . В цьому випадку при повторному контакті даної частинки з інструментом, вона буде видалена з катода.

Однак, в разі, якщо товщина обложеного шару гальванічної матриці між двома послідовними проходами інструменту в даній точці покриття перевищує половину діаметра впровадженої частки (рис. 3.2 в), то вона буде затримана в гальванічної матриці за рахунок міцності при зсуві $P_{зм} = \sigma_p F_{зм}$ шару обложеного металу, що контактує з часткою по верхній межі півсфери $dd' - ee'$ і становить $\delta' = \delta - 0,5d$, де d - діаметр впроваджуваної частки, мм, за умови, що сила впливу на частку основи за рахунок його пружною деформації при проходженні інструменту не перевищує міцності матеріалу гальванічної матриці товщиною δ' :

$$f < P_{\delta'}. \quad (3.2)$$

У разі, якщо умова (3.1) не виконуватиметься і виникне ситуація при якій $f > P_{\delta'}$, що зображено на рисунку 3.2 г, частка наповнювача гальванічного композитного покриття буде видалена з катода зі зрушенням металу матриці в напрямку, нормальному до напрямку реакції сили контакту частки $dd'' - ee''$.

Аналізуючи вищесказане, видно, що більш сприятливий режим отримання гальванічних композитних покриттів з використанням діелектричних частинок. Це пов'язано з тим, що покриття з використанням струмопровідних частинок досить рихлі і потребують додаткової механічної обробки з метою ущільнення шарів покриття і зменшення шорсткості обложеного шару.

При використанні не електропровідних частинок виходить більш рівномірне по товщині покриття з меншою шорсткістю осаждаемого шару. Тому, доцільно використання в якості наповнювача гальванічної матриці не електропровідних частинок розміром 0,01 - 0,03 мкм. Більші частинки за твердженням авторів [5, 25] важко піддаються зарощування шаром гальванічної матриці. Крім цього, необхідно враховувати, що твердість впроваджуваних частинок для зміцнення гальванічного покриття, повинна бути більше твердості металу гальванічної матриці.

Таким чином, доцільно використовувати порошок оксиду алюмінію (Al_2O_3) так як, не уступаючи карбїду титану за основними фізико-механічними параметрами, за своїми діелектричними властивостями він значно перевершує його. Електропровідність TiC становить $0,518 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ проти електропровідності Al_2O_3 $10^{-16} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$.

3.2. Дослідження впливу основних показників процесу на мікротвердість покриття

На підставі вивчення даних досліджень [3, 5, 19], для деталей плунжерних пар ПНВТ, що пройшли відновлення хромуванням, однією з основних характеристик, що забезпечують надійну роботу деталей, є мікротвердість одержуваних покриттів, величина якої визначається в основному, умовами електролізу, товщиною осаду і наявністю сторонніх включень в ньому [5].

Тому досліджувалися зразки, які пройшли відновлення нанесенням дисперсно-зміцненого композитного покриття на основі хрому з товщиною до 40 мкм. Математичне планування експерименту [2] використовувалося для вивчення впливу режимів електролізу на мікротвердість одержуваних покриттів.

Був реалізований повний факторний експеримент 2^3 . Характеристики плану експерименту вибиралися з умови отримання беспористих хромових покриттів зі стискають залишковими напруженнями і найменшим наводненням сталеві основи.

В результаті проведеного кореляційного аналізу було обрано такі незалежні змінні і області їх варіювання:

- щільність струму, I кА/м² 10 - 20
- температура електроліту, t °С 45 - 59
- тиск інструменту, P МПа 2,5 - 3,5

Досліджуваний показник - мікротвердість покриттів (Нц, МПа) була обрана в якості залежної змінної.

Для вивчення впливу режимів осадження на мікротвердість одержуваних покриттів застосовувався метод регресійного аналізу результати якого представлені в додатку А, для чого на підставі експериментальних даних була побудована матриця планування, яка містить залежну і незалежні змінні. Однією з умов цього методу є припущення про функціональну незалежності варійованих змінних. Для оцінки цього положення проводився кореляційний аналіз.

Аналізуючи матриці коефіцієнтів парної кореляції, можна зробити висновок про необхідність включення в модель таких факторів досліджуваного процесу, як щільність струму, температура робочого середовища, тиск інструменту на поверхню. Інші фактори процесу виявилися не значимі.

В ході підбору математичної моделі, найточніше описує досліджуваний процес, стало ясно, що найкращим чином описує досліджуваний процес лінійна модель з вільним членом, тому що для неї коефіцієнт детермінованості має найбільше значення.

Отримана модель піддавалася перевірці на адекватність за критерієм Фішера [25]. Модель вважалася адекватною, якщо $F_p < F_{кр}$. Для отриманої моделі дана умова виконується, отже, рівняння регресії адекватно описує вплив основних факторів розробленого процесу на мікротвердість одержуваних покриттів.

В результаті розрахунку покрокової множинної регресії із застосуванням пакета наукових підпрограм «Statistika» отримано рівняння, що описує залежність мікротвердості від досліджуваних факторів:

$$H_{\mu} = 19690,18 - 414,36 \cdot i - 204,89 \cdot t - 2065,64 \cdot p + 9,6 \cdot i \cdot t + 170,99 \cdot i \cdot p + 46,88 \cdot t \cdot p - 2,99 \cdot i \cdot t \cdot p \quad (3.3)$$

Встановлено, що залежність мікротвердості від досліджуваних факторів лінійна, а зв'язок між ними сильний - множинний коефіцієнт кореляції досягає значення 0,999.

В ході роботи з аналізу кореляційної матриці, бачимо, що найбільше значення на мікротвердість надає ефект взаємодії факторів щільності струму і тиску інструменту (коефіцієнт кореляції - 3,51607). Слабше впливають на досліджуваний параметр ефекти взаємодії розглянутих предикторів (коефіцієнт кореляції - 3,41730). Далі в міру зменшення ступеня впливу розташовуються взаємодія температури електроліту і щільності струму (коефіцієнт кореляції - 3,29066), щільність струму (коефіцієнт кореляції - 2,51253), взаємодія температури робочого середовища і тиску інструменту (коефіцієнт кореляції - 1,91055), температура електроліту (коефіцієнт кореляції - 1,73937) і тиск інструменту (коефіцієнт кореляції - 1,25254).

Перевірка коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента, показала, що всі коефіцієнти регресії виявилися значущими, тому що обчислені значення критерію Стюдента виявилися більшими критичного $t_{\text{крит.}} = 2,776$ [25].

З аналізу отриманої регресійної моделі слід, що зі збільшенням температури електроліту мікротвердість покриттів зменшується, що добре узгоджується з характером впливу температури електроліту на мікротвердість як при звичайному хромуванні [25], так і при гальваноконтактному методі осадження покриттів і пояснюється, мабуть, збільшенням пластичності хрому з підвищенням температури електроліту.

Раціональної щільності струму для отримання якісних гальванічних композитів на основі хромової матриці для сталевий підкладки, слід вважати значення 18 кА/м^2 , так як в цьому випадку осідають покриття з найвищою швидкістю без погіршення якості останніх [25]. У зв'язку з цим були побудовані технологічні номограми, показані на рисунках 3.3 і 3.4, що дозволяють в виробничих умовах не вдаючись до складних обчислень вибрати раціональні режими осадження з метою отримання композитних покриттів в найбільшій мірою відповідає технологічним вимогам.

Збільшення щільності струму призводить до незначного збільшення мікротвердості одержуваних покриттів і пояснюється, мабуть, екстремальним характером залежності мікротвердості від щільності струму, коли максимальна мікротвердість спостерігається при певній щільності струму.

Встановлено залежність між мікротвердістю одержуваних покриттів і тиском інструменту в процесі їх нанесення, яка показує, що збільшення тиску інструменту на що наноситься покриття призводить до збільшення мікротвердості останнього. Цей факт можна легко пояснити зміцненням покриття в процесі його нанесення, а також збільшенням концентрації твердого дисперсного наповнювача в ньому.

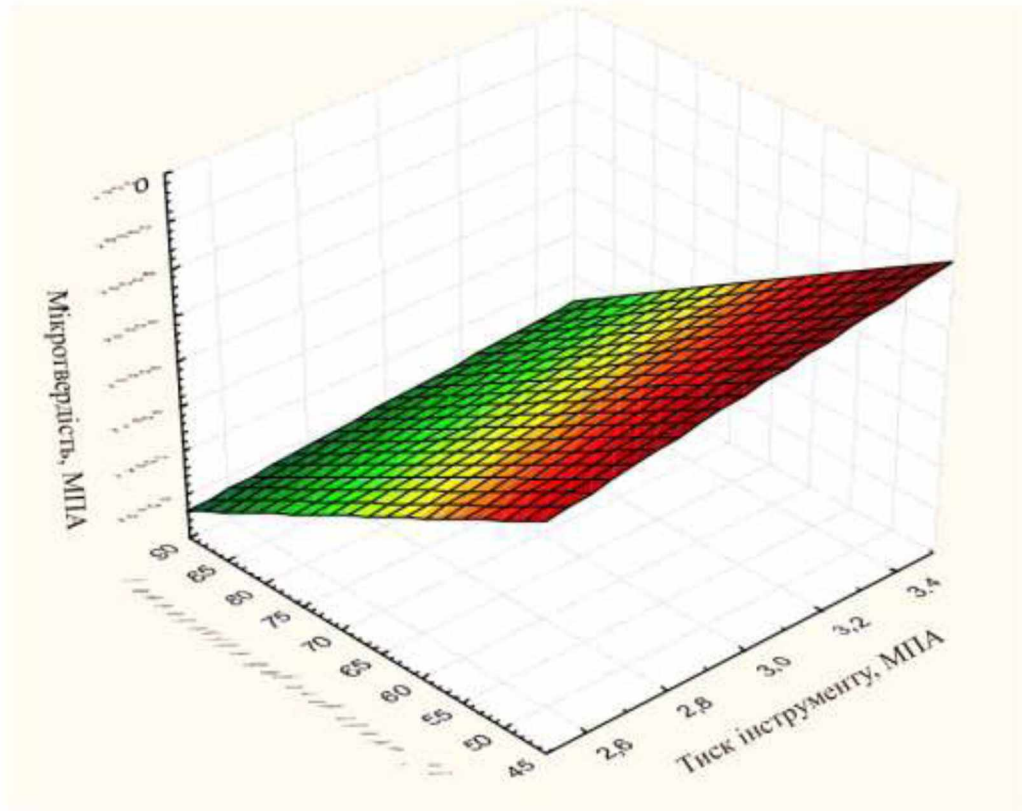


Рисунок 3.3 - Відгук регресійної моделі при $i = 18 \text{ кА/м}^2$

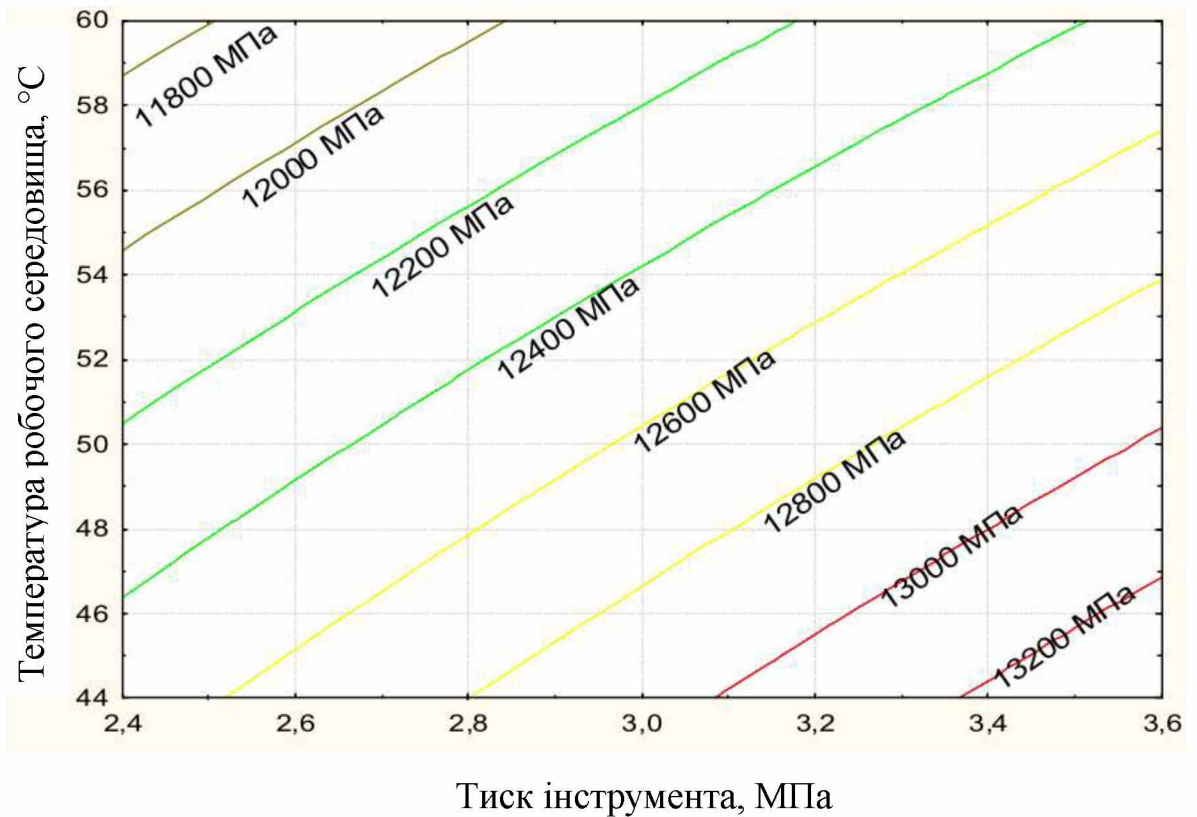


Рисунок 3.4 – Номограма для визначення мікротвердості покриттів при щільності струму 18 кА/м^2

Необхідно відзначити одну важливу особливість залежності мікротвердості дисперсно-зміцнених композитних покриттів на основі хрому від параметрів їх нанесення, а саме, поєднання комплексу фізичних, хімічних і механічних впливів, що реалізуються технологією, дозволяє формувати принципово новий, зносостійкий поверхневий шар деталі в результаті впливу якісних і кількісних параметрів процесу, які обумовлюють синергетичний ефект, що виражається в підвищенні мікротвердості покриття.

Методом гальваноконтактного осадження, що забезпечує отримання гальванічних композитів на основі хромової матриці з діелектричним наповнювачем, отримані покриття мікротвердість яких відповідає значенням 11000 - 13500 МПа, проти мікротвердості покриттів, отриманих традиційним хромуванням 9000 - 11400 МПа.

Таким чином, експериментально доведено, що технологія ГКО дозволяє перевершити мікротвердість хромових покриттів, отриманих за стандартною технологією без погіршення їх інших фізико-механічних властивостей, що дозволяє прогнозувати досить високу їх зносостійкість.

3.3. Дослідження впливу основних показників процесу на шорсткість поверхні після покриття

Як відомо, при нанесенні хромових покриттів відбувається збільшення шорсткості поверхні в порівнянні з вихідною в 1,6 - 2 рази [17]. Там же зазначається, що це значною мірою знижує твердість хромового покриття і одночасно підвищує його пористість.

Так як спосіб ДКО розроблявся як фінішний метод відновлення зношених поверхонь деталей до шорсткості поверхні, відновленої даним методом, пред'являються особливі вимоги. Цей розділ присвячений вивченню впливу режимних параметрів відновлення хромуванням по методу ДКО на шорсткість одержуваної поверхні.

Зразки для досліджень проходили відновлення хромуванням методом ДКО з нанесенням покриття 4 - 40 мкм.

Характеристики плану експерименту вибиралися з умови отримання беспористих хромових покриттів зі стискають залишковими напруженнями і мінімальної шорсткістю відновленої поверхні.

В результаті області варіювання незалежних змінних були обрані наступні:

щільність струму, i кА/м² 10 - 20

температура електроліту, t °С 45 - 59

тиск інструменту, P МПа 2,5 - 3,5

Шорсткість поверхні покриттів (R_a , мкм) була взята в якості залежної змінної.

Застосовувався метод регресійного аналізу [25]. Була побудована матриця планування, яка містить залежну і незалежні змінні, яка представлена в додатку А. Однією з умов цього методу є припущення про функціональну незалежності варіюваних змінних. Для оцінки цього положення проводився кореляційний аналіз, що дозволяє зробити висновок про необхідність включення в модель таких факторів досліджуваного процесу, як щільність струму, температура робочого середовища, тиск інструменту на поверхню. Інші фактори процесу виявилися не значимі або мультиколінеарні.

Аналізуючи проведені обчислення встановлено, що найкращим чином описує досліджуваний процес лінійна модель з вільним членом, тому що для неї коефіцієнт детермінованості має найбільше значення.

Згідно з критерієм Фішера [25] модель вважається адекватною, якщо $F_p < F_{кр}$. Для отриманої моделі дана умова виконується, отже, рівняння регресії адекватно описує вплив основних факторів процесу ДКО на шорсткість поверхні одержуваних покриттів.

На підставі проведеного регресійного аналізу із застосуванням пакета наукових підпрограм «Statistika» отримано рівняння, що описує залежність шорсткості покриттів від досліджуваних факторів:

$$R_a = 0,0532 + 0,001i - 0,0004t - 0,0042p \quad (3.4)$$

Встановлено, що залежність мікрогеометрії від досліджуваних факторів лінійна, а зв'язок між ними сильний – множинний коефіцієнт кореляції досягає значення 0,975. Аналізуючи кореляційну матрицю, бачимо, що найбільше значення на шорсткість покриттів надає щільність струму (коефіцієнт кореляції - 0,828). Менш значно впливають на мікрогеометрію температура електроліту і тиск інструменту (коефіцієнти кореляції відповідно - 0,418 і 0,338).

Аналіз отриманої регресійної моделі дозволив стверджувати, що зі збільшенням температури електроліту геометрія покриттів зменшується, тому що при цьому поліпшується розкочування покриття інструментом під час його нанесення на деталь, і пояснюється, мабуть, збільшенням пластичності хрому з підвищенням температури електроліту. Як зазначалося раніше, найбільш раціональної щільністю струму для отримання якісних гальванічних композитних покриттів на основі хрому, є значення 18 кА/м², так як дозволяє осаджувати покриття з найвищою швидкістю без погіршення якості останніх. На рисунку 3.5 представлена тривимірна графічна залежність впливу температури робочого середовища і тиску інструменту на поверхню деталі, що піддається нанесенню композитного покриття при щільності струму 18 кА/м².

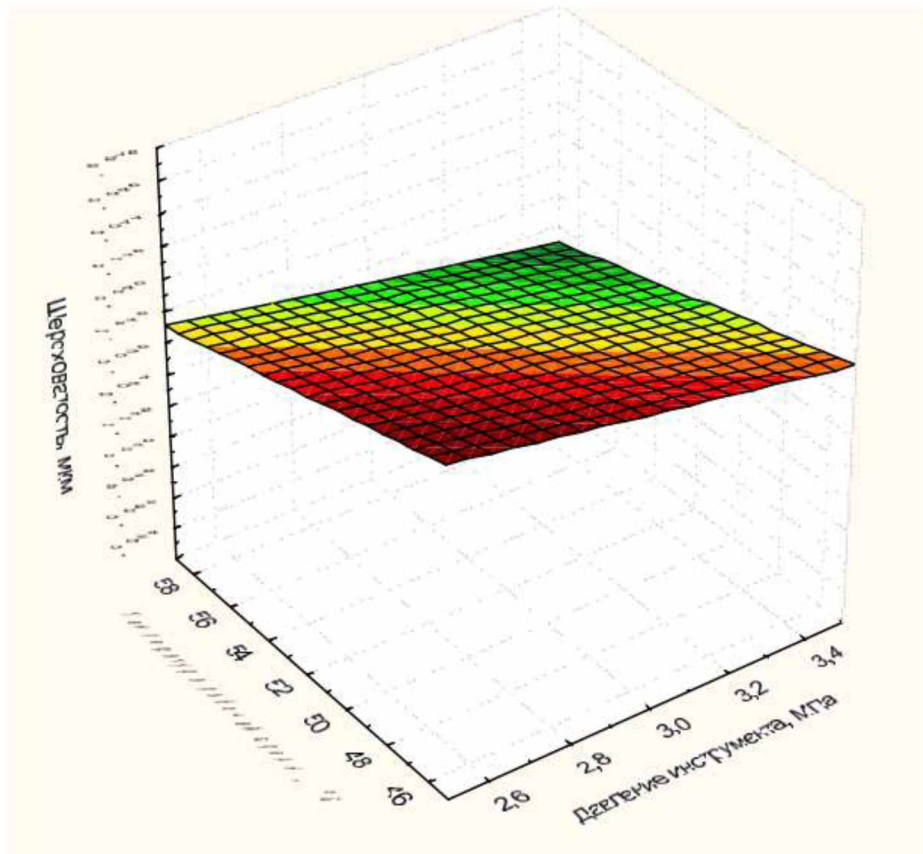


Рисунок 3.5 – Графічна інтерпретація аналітичної залежності шорсткості покриття від режимних параметрів осадження при $i = 18 \text{ кА/м}^2$

У технологічних розрахунках тривимірне графічне зображення використовувати важко. У зв'язку з цим була побудована номограма вибору технологічних параметрів для отримання покриттів із заданою шорсткістю поверхні, яка представлена на рис. 3.6.

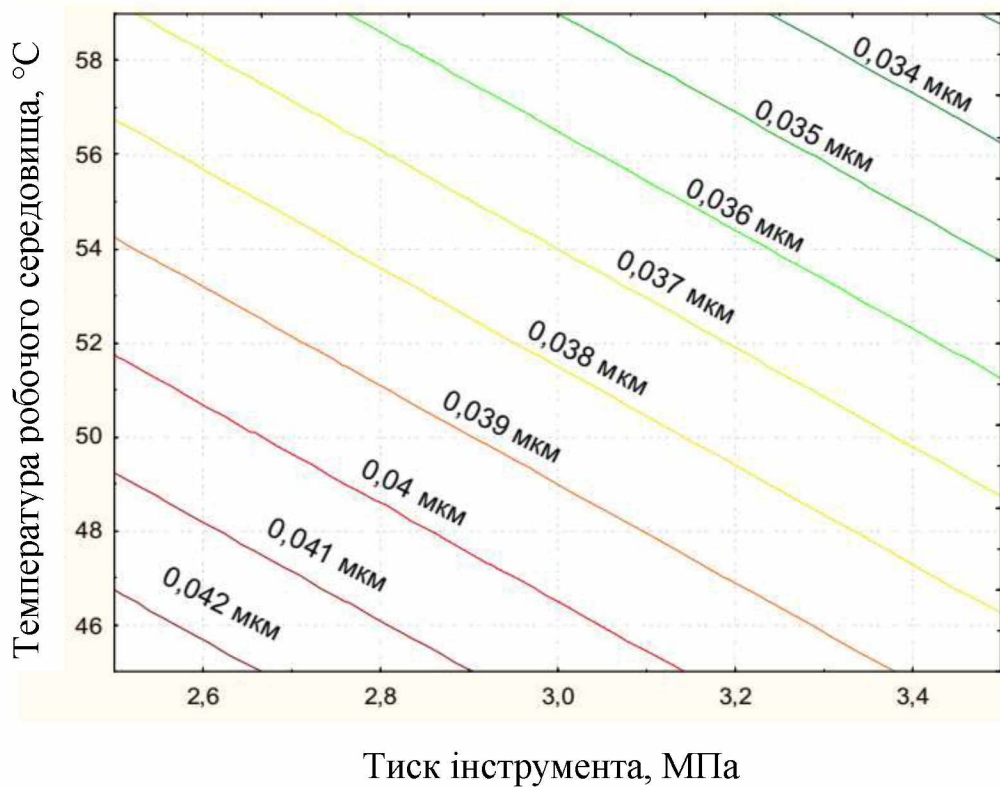


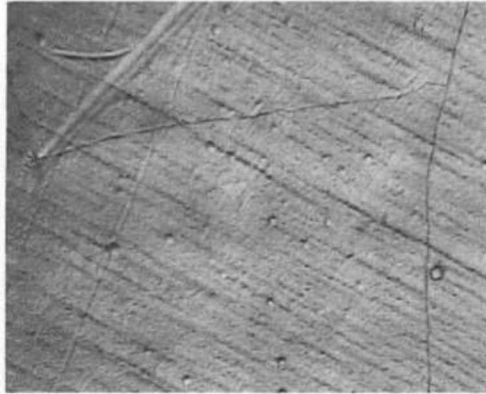
Рисунок 3.6 – Номограма для визначення режимних параметрів осадження з метою отримання покриттів заданої шорсткості

Збільшення щільності струму призводить до незначного збільшення шорсткості одержуваних покриттів і пояснюється, мабуть, екстремальним характером залежності зростання покриття від щільності струму. Збільшення тиску в досліджуваному діапазоні знижує величину шорсткості одержуваних покриттів.

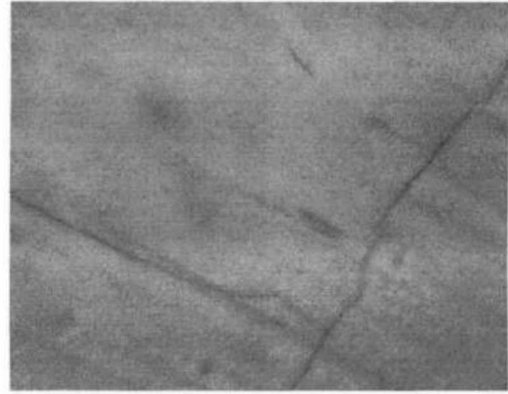
Величина мікрогеометрії покриттів, отриманих методом ДКО, лежить в межах $Ra = 0,03 - 0,04$ без застосування механічної обробки, що дозволяє рекомендувати метод для фінішних операцій, придатних для відновлення плунжерних пар ПНВТ, в зв'язку з тим, що по параметру шорсткості дана технологія задовольняє технічним вимогам, що пред'являються до цього типу виробів.

3.4. Дослідження структури покриттів

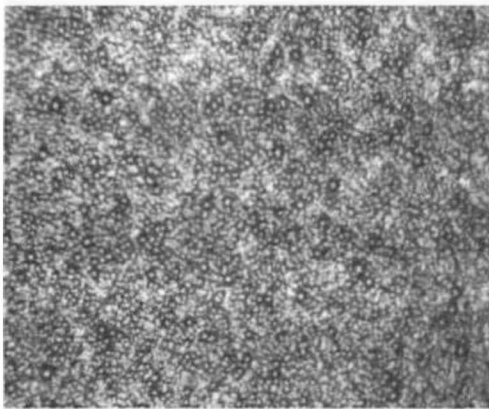
Для дослідження структури гальванічного дисперсно-зміцненого композитного хромового покриття і його порівняння зі структурою стандартного хрому були виготовлені мікрошліфи. Їх фотографії представлені на рисунку 3.7.



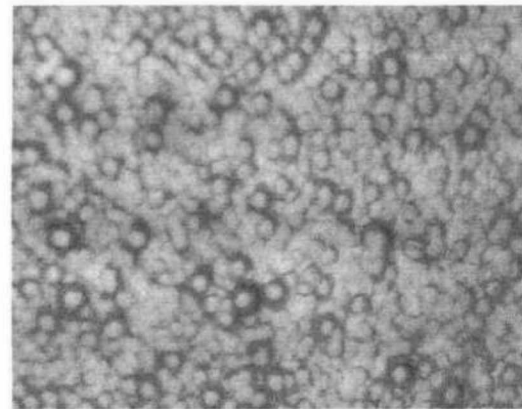
а



б



в



г

Рисунок 3.7 – Структура поверхні хрому: а - чистий хром при збільшенні в 88 разів; б - чистий хром при збільшенні в 220 разів; в - композиційний хром при збільшенні в 88 разів; г - композиційний хром при збільшенні в 220 разів

Як видно з рисунку, на поверхні хромового покриття, отриманого за стандартною технологією спостерігаються яскраво виражені тріщини, а в

гальванічному композитному покритті вони відсутні. Все це підтверджує гіпотезу про більш високої корозійної стійкості гальванічних дисперсно-зміцнених композитних хромових покриттів.

Встановлено, що структура композитного покриття на основі хрому є більш щільною в порівнянні зі звичайним хромовим покриттям. Цей факт можна пояснити наявністю дисперсних включень в покритті, які будучи центрами кристалізації при гальванічному осадженні покриття, одночасно з цим за рахунок деформації покриття через періодичний тиск забезпечується інструментом, створюють мікроскопічну деформацію навколо себе.

Висновки

Теоретично обґрунтовано доцільність застосування в якості дисперсного наповнювача гальванічних композитних покриттів діелектричних матеріалів.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що покриття, отримані методом ДКО, в залежності від варіювання режимних параметрів, мають шорсткість $R_a = 0,03 \dots 0,04$, що дозволяє виключити операції фінішної механічної обробки шліфуванням

Адгезія гальванічних композитних покриттів на основі хрому до сталевій основи склала 90 - 98% проти 38 - 45% у покриттів, отриманих за стандартною технологією, що дозволяє прогнозувати їх високу довговічність.

Встановлено, що структура композитного покриття на основі хрому є більш щільною в порівнянні зі звичайним хромовим покриттям.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації по забезпеченню екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій і витоків нафтопродуктів, в який включають об'єкти і території, що підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, житлові масиви, зони відпочинку).

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту. Для цього встановлюють структуру викидів і скидань забруднюючих речовин при експлуатації технологічного устаткування. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Залежно від категорії небезпеки вводиться періодичність звітності в системі держобліку викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Найбільша ефективність в захисті повітряного середовища від забруднюючих викидів досягається при поєднанні заходів щодо вдосконалення технологічних процесів, газоочистки, забезпечення загальних санітарно-гігієнічних вимог і правильних об'ємно-планувальних рішень.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення

чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий вплив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному

дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів,

направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;
- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;
- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;

- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;
- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогасіння, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;
- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;
- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;
- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;
- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;
- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;
- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;
- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- забезпечення пожежної безпеки;

- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проектного або модернізованого устаткування (приспосовування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проектного устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях. Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому при проектуванні підприємств в приміщеннях передбачають природну, механічну або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в нім газів, шкідливих виділень в межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, в наплавлювальній установці, гальванічній ванні і т.д.), влаштовують місцеву вентиляцію у вигляді парасольок, відкосів і т.п. При розсіяному виділенні забруднень в приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Вихідні дані по відновленню плунжерних пар представлені в таблиці 4.1. Вартість і кількість обладнання необхідного для виконання програми ремонту деталей розраховується окремо по кожній операції, виходячи з кількості одиниць обладнання. Попередньо необхідно знайти значення Φ_e - ефективний фонд часу робочого місяця (годин), для розрахунку числа постів:

$$\Phi_e = T_3 \cdot \mathcal{C}_3 \cdot \mathcal{C}_d \cdot K_n, \quad (4.1)$$

де T_3 - тривалість однієї зміни, годину (8);

\mathcal{C}_3 - число робочих змін у добі;

\mathcal{C}_d - число робочих днів у році, днів (250);

K_n - коефіцієнт втрат часу роботи обладнання (0,97).

$$\Phi_e = 8 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 0,97 = 3880 \text{ год.}$$

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Найменування операції технологічного процесу	$T_{шт}$, хв.	Встановлена потужність, кВт	Ціна, тис. грн.
Миття в ацетоні	0,5	1,5	70
Миття	2,15		0,75
Захисна операція	3,35	4,8	286
Травлення	1,24		0,9
Анодна обробка	8,45	3,2	243
Нанесення композитного покриття	11,09	3,2	243

Визначаємо кількість обладнання (C_p) за операціями:

$$C_p = \frac{N \cdot t_{шт}}{\Phi_e}, \quad (4.2)$$

де N - річна програма стосовно цього виробу (шт.);

$t_{штк}$ - норма штучно-калькуляційного часу на окремій операції по виробу, годину.

У таблиці 4.2. представлені результати розрахунків.

Таблиця 4.2- Визначення робочих місць

Найменування операції технологічного процесу	$T_{штк}$, хв	C_p	$C_{пр}$	K_3
Миття в ацетоні	0,5	0,04	1	0,04
Миття	2,15	0,2	1	0,2
Захисна операція	3,35	0,31	1	0,31
Травлення	1,24	0,1	1	0,1
Анодна обробка	8,45	0,05	1	0,05
Нанесення композитного покриття	11,09	0,93	1	0,93

Вартість основного технологічного устаткування визначається на основі кількості обладнання, їх оптових цін, а також витрат на транспортування і монтаж. Вартість виробничого інвентарю (шафи, стелажі для зберігання інструментів і пристосувань, деталей та інше обладнання робочих місць) для укрупнених розрахунків приймається в розмірі 1-5% вартості основного технологічного обладнання.

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування включають витрати на утримання, поточний ремонт виробничого і підйомнотранспортного обладнання, цінних інструментів, цехового транспорту та робочих місць, знос і витрати на відновлення малоцінного і швидкозношуваного інструменту та ін.

Таблиця 4.3 - Зведена відомість прямих витрат на відновлення гільзи

Найменування статей	Затрати на річну програму випуску, тис. грн.	Витрати на одиницю продукції, грн.
1. Витрати на електроенергію для технічних потреб	14,029	0,8
2. Витрати на заробітну плату	378,95	20
3. Додаткова заробітна плата	37,895	2
4. Єдиний соціальний внесок	108,37	5

Калькуляцією собівартості називається розрахунок витрат на виготовлення одиниці продукції, в даному випадку на відновлення однієї гільзи (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 - Техніко-економічні показники відновлення гільзи циліндра двигуна СМД-60

Найменування показника	Значення показника
1. Річний випуск відновлених деталей, шт.	2000
2. Загальна вартість основних фондів ,тис. грн.	293,7
3. Трудомісткість відновлення одиниці продукції, хв.	26,78
4. Собівартість відновлення деталі, грн./шт.	62,0
5. Вартість нової деталі, грн./шт.	90,0
6. Економія коштів на одиницю продукції, грн.	318,0
7. Економія коштів загальна, тис. грн.	636

Річний економічний ефект від впровадження технології гальваноконтального відновлення плунжерних пар ПНВТ НД-22/6Б4 композитним покриттям на основі хрому склав 636 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В системі живлення найбільш відповідальною частиною є плунжерна пара ПНВТ. Найбільш перспективними методами для відновлення плунжерних пар ПНВТ вважаються «холодні» способи відновлення, зокрема гальванічні.

Теоретично обґрунтовано доцільність застосування в якості дисперсного наповнювача гальванічних композитних покриттів діелектричних матеріалів.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що покриття, отримані методом ГКО, в залежності від варіювання режимних параметрів, мають шорсткість $R_a = 0,03 \dots 0,04$, що дозволяє виключити операції фінішної механічної обробки шліфуванням

Адгезія гальванічних композитних покриттів на основі хрому до сталевих основ склала 90 - 98% проти 38 - 45% у покриттів, отриманих за стандартною технологією, що дозволяє прогнозувати їх високу довговічність.

Річний економічний ефект від впровадження технології гальваноконтактного відновлення плунжерних пар ПНВТ НД-22/6Б4 композитним покриттям на основі хрому склав 636 тис. грн.