

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Дослідження способу нанесення композитного покриття для
підвищення довговічності гільз циліндрів»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 6
Кропивка Олег Олександрович
Керівник: Ковальчук С. Б.
Рецензент: Лапенко Т. Г.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Ефективне використання машин і устаткування забезпечується високим рівнем їх технічного обслуговування і ремонту, наявністю необхідної кількості запасних частин. Якщо врахувати, що витрати на запасні частини досягають 50 ... 70% від собівартості ремонту машин, а вартість відновлених деталей становить 30 ... 60% [1] від вартості нових, то проблема відновлення і повторного використання після закінчення їхнього терміну деталей є актуальною.

Сьогодні велика увага приділена напрямку підвищення технічного рівня сільськогосподарської техніки шляхом її модернізації при технічному сервісі, відновленню і зміцненню деталей із застосуванням нових технологічних процесів, доведення коефіцієнта технічної готовності машинно-тракторного парку до 95 ... 98%.

Найбільш відповідальним агрегатом сучасних сільськогосподарських машин є двигун, на частку якого припадає 36 ... 52% від загальної кількості відмов [2]. Ресурс двигуна залежить від зносу деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), в першу чергу це відноситься до гільз циліндрів. Недостатня довговічність деталей ЦПГ, міжремонтний ресурс яких не перевищує 40% від ресурсу двигуна, вимагає частої заміни в процесі експлуатації [2].

Основними способами відновлення працездатності гільз циліндрів є розточування або шліфування під ремонтний розмір, контактна приварка сталевий стрічки, індукційна відцентрова наплавка, термопластичне деформування, електродугова металізація, постановка додаткової ремонтної деталі, хромування і залізнення [3]. Основними недоліками всіх способів є вплив високих температур, висока вартість матеріалів, недостатня якість відновленої поверхні, складна і дорога механічна обробка до та після відновлення, недостатній післяремонтний ресурс.

Перспективним напрямком відновлення гільз циліндрів є розробка технології нанесення композитних покриттів на основі заліза, що виключає застосування механічної обробки до і після відновлення.

Дана робота присвячена розробці технології відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки композитним покриттям на основі заліза, що забезпечує підвищення довговічності і зниження собівартості відновлених деталей.

Мета роботи. Підвищення довговічності і зниження собівартості відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки способом нанесення композитного покриття на основі заліза.

Об'єкт дослідження. Композитні гальванічні покриття на основі залізної матриці, нанесені способом гальваноконтрактного осадження (ГКО) на внутрішню зношену поверхню гільзи циліндра двигуна.

Предмет дослідження. Фізико-механічні характеристики композитних гальванічних покриттів, отриманих методом ГКО і закономірності їх формоутворення.

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, а постановка і обробка результатів експерименту із застосуванням методів математичної статистики.

Теоретична і практична значущість. Теоретична полягає в обґрунтуванні і розробці технології нанесення композитних гальванічних покриттів на чавунних гільзах циліндрів дизельних двигунів з метою збільшення їх довговічності. Розроблено спосіб, що дозволяє отримувати композитні покриття на основі залізної матриці з високими фізико-механічними і експлуатаційними властивостями на внутрішніх циліндричних поверхнях гільз циліндрів дизельних двигунів.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз проблеми відновлення зношених деталей

Ефективне використання машин і устаткування забезпечується високим рівнем їх технічного обслуговування і ремонту, наявністю необхідної кількості запасних частин.

Для відновлення працездатності зношених деталей потрібно в 5-8 разів менше технологічних операцій в порівнянні з виготовленням нових деталей [2, 3]. Розширення виробництва нових запасних частин пов'язане зі збільшенням матеріальних і трудових витрат. Витрати на запасні частини досягають 50 ... 70% від собівартості ремонту машин. У вартості нових деталей 75 ... 80% складають витрати на метал. Якщо врахувати, що собівартість відновлення деталей не перевищує 30 ... 60% від ціни нових, витрата матеріалів в 15 ... 20 разів нижче, ніж на їх виготовлення, а витрата енергії в десятки разів менше, ніж при виготовленні нових, то основні шляхи зниження собівартості ремонту машин, а також витрати і дефіциту запасних частин – відновлення і повторне використання зношених деталей [4, 5].

Якщо врахувати, що при переплавці металобрухту втрачається до 30% металу, то відновлення зношених деталей є найважливішим завданням в цілях економії матеріально-сировинних і енергетичних ресурсів. При недостатньому бюджетному фінансуванні і великій зношеності парку сільськогосподарських машин, значення відновлення деталей значно зростає.

Закордонна практика показує, що науково обґрунтовані технологія і організація відновлення деталей машин дозволяють досягти нормативного напрацювання техніки, а в окремих випадках і перевершити напрацювання нових виробів. Частка відновлюваних деталей в загальному обсязі споживання запасних частин в розвинених зарубіжних країнах становить 30

... 35% [5], а в окремих випадках, як наприклад в Японії, відновленням зношених деталей задовольняють 40% потреби в запасних частинах [6].

Стандартами встановлено, що ресурс капітально відремонтованих тракторів і тракторних двигунів повинен бути не менше 80% від нових [4], однак при ремонті нерідко ресурс нових запасних частин складає 60% від ресурсу, передбаченого технічною документацією на виготовлення нової деталі.

В середньому за час експлуатації двигун трактора капітально ремонтують три рази. Однак у зв'язку зі значним старінням машинно-тракторного парку число капітальних ремонтів двигуна за термін служби трактора буде зростати. Одним з пріоритетних напрямків в АПК є збільшення ресурсу двигуна до 10 ... 15 тис. год. і напрацювання на відмову у тракторів понад 1000, комбайнів – 100 ... 150 мото-год. [7].

Ресурс автотракторних двигунів залежить від невеликого числа швидкозношуваних деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), в першу чергу це відноситься до гільз циліндрів. Недостатня довговічність деталей ЦПГ, міжремонтний ресурс яких не перевищує 40% від ресурсу двигуна, вимагає частой заміни в процесі експлуатації. Так, при капітальному ремонті двигуна ці деталі підлягають 100% заміні і на термін служби двигуна потрібно 2 ... 3 комплекти деталей ЦПГ. Середні темпи зносу гільз циліндрів сучасних тракторних двигунів зазвичай складають 30 ... 34 мкм / 1000 мото-год. Темпи зносів гільз в одному і тому ж двигуні зазвичай розрізняються в 1 ... 3 рази. До 80% гільз автотракторних двигунів вибраковуються з недовикористаним ресурсом [7], а ресурс гільз циліндрів двигунів типу ЯМЗ використовується лише на 34%.

Для підвищення ресурсу автотракторних двигунів потрібно підвищення зносостійкості внутрішньої поверхні гільз циліндрів в 1,6 ... 2,5 рази шляхом нанесення композиційних покриттів [7]. Якщо врахувати, що ціна відновленої гільзи циліндра в 1,65 рази менше ціни нової, то її відновлення є

пріоритетним напрямком зниження витрат на ремонт ЦПГ і двигунів в цілому.

Основним способом відновлення зношених гільз циліндрів є розточування або шліфування під ремонтний розмір, що тягне за собою зниження твердості контактної поверхні, внаслідок видалення зміцненого поверхневого шару і необхідність організації виробництва поршнів і поршневих кілець ремонтного розміру, при цьому ресурс ЦПГ зменшується на 40 ... 50% [8], а термін служби двигунів після ремонту становить 30 ... 47% ресурсу нових.

Поверхню гільз циліндрів при обробці під ремонтний розмір збільшують на 0,7 мм, а для гільз ЯМЗ-236, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-238Б – на 0,5 мм відносно номінального [9]. Зношені деталі ЦПГ в більшості випадків після декількох розточувань доводиться замінювати на нові, в зв'язку з тим, що глибина поверхнево зміцненого шару дорівнює зносу поверхні і подальша експлуатація недоцільна.

Способи відновлення гільз циліндрів в номінальний розмір не знайшли широкого застосування внаслідок того, що не відповідають вимогам стандарту за якістю і мають високу собівартість [10]. Тільки 66% параметрів витримується при централізованому відновленні гільз циліндрів. У зв'язку з цим, розробка методів відновлення гільз циліндрів в номінальний розмір, що відповідають вимогам стандартів, є актуальним завданням ремонтного виробництва.

Великі можливості підвищення ресурсу відновлених деталей при модернізації сільськогосподарської техніки відкривають технології нанесення зміцнюючих покриттів. Перспективним напрямком підвищення зносостійкості відновлених деталей є нанесення розмірних гальванічних покриттів.

В останнє десятиліття обсяги відновлення деталей гальванопокриттям в загальному обсязі різко знизилися. Однією з причин є недостатній технічний рівень технологічних процесів нанесення гальванічних покриттів, що не

дозволяє отримувати покриття, що забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики.

Структура технологічних процесів відновлення зношених деталей на ремонтних підприємствах представлена в таблиці 1.1 [11].

Таблиця 1.1 – Структура технологічних процесів відновлення зношених деталей на ремонтних підприємствах

Технологічний процесу (по способам відновлення дефектів)	Частка в загальній кількості технологічних процесів, %
Дугова наплавка	75
Контактне приварювання металевого шару	7
Газотермічне напилення	9
Нанесення гальванічних покриттів	3
Інші	9

Гальванічні процеси відновлення деталей відносяться до «холодних» методів обробки матеріалів, і на відміну від більшості застосовуваних в даний час ремонтних технологій не змінюють структуру поверхневого шару відновлюваної деталі, не сприяють виникненню термічних напружень в матеріалі і просторовому викривленню деталі. Тому, в даний час актуальна проблема відновлення зношених внутрішніх циліндричних поверхонь гільз циліндрів автотракторних двигунів методами розмірного гальванічного осадження осадів заданої товщини з заданими фізико-механічними і експлуатаційними властивостями.

1.2. Умови роботи та аналіз дефектів гільз циліндрів

Виходячи з функціонального призначення, гільзи циліндрів є найбільш відповідальною деталлю циліндро-поршневої групи. Спряження «гільза – поршневе кільце» працює у важких умовах. Максимальний питомий тиск верхнього компресійного кільця на поверхню гільзи може досягати 8-9 МПа [2], максимальна температура цього спряження – 230 ... 240°C, а середня

швидкість поршня, наприклад для двигунів сімейства СМД, дорівнює 7 ... 8 м/с [7], на частку спряження припадає 45% втрат двигуна на тертя.

Встановлено, що основним дефектом гільз циліндрів, які відпрацювали міжремонтний ресурс, є знос внутрішньої поверхні, який є наслідком комплексного впливу на стінки гільзи численних фізичних і хімічних швидкоплинних процесів.

За характером прояву розрізняють ерозійний, корозійний і абразивний знос. Корозійний знос пов'язаний з руйнуванням поверхневого шару металу, що викликається хімічними та електрохімічними процесами. Хімічна корозія є наслідком впливу на стінку гільзи сухих газів (сірчистого, кисню і його сполук). Електрохімічна корозія пов'язана з впливом на стінку гільзи електролітів сірчаної, вугільної та інших кислот, які утворюються при зниженому тепловому стані двигуна в результаті послідовного контактування з конденсатом води і киснем сірчистого ангідриду і вуглекислого газу, що є складовою частиною продуктів згоряння палива [12]. Корозійний знос інтенсифікується при появі на деталях ЦПГ конденсату водяної пари, наступним потраплянням води в картер і розрідженням масла, яке спостерігається при холодному пуску двигуна і триває до нормалізації робочого процесу і прогріву двигуна, попаданням солей, що призводять до інтенсифікації зносу на 15 ... 25%.

При великих перервах у роботі двигуна також спостерігається пряме іржавіння деталей ЦПГ. За результатами досліджень, наявність 2-3% води в маслі збільшує знос гільз і кілець в кілька разів [13].

Абразивний знос пов'язаний з попаданням з повітрям пилу через масляний фільтр і становить 35 ... 78% від загального зносу в залежності від погодних умов, району експлуатації, стану доріг і виду ґрунту, складу палива і мастильних матеріалів, що викликає утворення нагару, наявністю в маслі продуктів зносу як наслідок ерозії і корозії стінок гільзи [13].

Ерозійний знос спостерігається при безпосередньому контакті кілець зі стінкою гільзи, і проявляється в утворення металевих зв'язків між ними. Тут

важливим фактором є тиск верхнього компресійного кільця, яке сприймає основне навантаження від потоку гарячих газів притискаючих його до стінки гільзи і швидкість його ковзання. Цей вид зносу пов'язаний з відсутністю мастила між поверхнями, що труться, особливо у верхній мертвій точці (ВМТ), внаслідок видавлювання його кільцями, і стимулюється потоком гарячих газів. У зоні дії потоку стінки промиваються рідкофазним бензином та обезжирюються, внаслідок чого утворення осередків захоплення полегшується.

При швидкостях близьких до нуля спостерігаються місцеві миттєві розриви масляного шару і напівсухе тертя [13]. Також слід зазначити взаємний вплив видів зносів один на одного. Встановити який з видів зношування є основним неможливо, так як вони протікають одночасно, а не окремо і отримують більший чи менший розвиток в залежності від умов експлуатації двигуна [13].

Всі перераховані вище явища викликають появу рисок на поверхні гільз. Глибина окремих рисок може досягати 0,8 ... 1,3 мм, що згодом викликає задири поршневих кілець і поршнів. Також слід зазначити зворотне – поява тріщин і відколів хрому на поршневих кільцях викликає згодом задири на поверхні гільз [14].

З практики відомо, що нанесення пористого хромового покриття на верхнє компресійне кільце товщиною до 200 мкм в 1,5 рази збільшує зносостійкість гільзи і в 2 ... 3 рази кільця [10].

З вищесказаного випливає, що для підвищення ресурсу ЦПГ слід розглядати пару тертя «гільза – поршневе кільце» в цілому, а не її елементи окремо.

Дослідження показали, що в гільзах в процесі експлуатації спостерігається підвищення мікротвердості робочої поверхні на 10 ... 15% у порівнянні з вихідною, і подальше її зменшення, яке відбувається внаслідок виникнення знакозмінних навантажень при русі поршневих кілець, що відбувається в період припрацювання, а також наявність розтягуючих

залишкових напруг, що змінюють свій знак на стискаються до кінця періоду припрацювання, викликане накопиченням пластичних деформацій в поверхневому шарі.

Підвищений знос деталей спостерігається під час пуску і прогріву двигуна на холостому ходу, і становить 26 ... 30% влітку і 45 ... 65% взимку, при цьому 80% зносу доводиться на період з початку пуску до встановлення частоти обертання колінчастого вала, що відповідає холостому ходу. Наприклад, сто холодних пусків двигуна з подальшим прогріванням по зношуванню відповідають 800 ... 1000 год. звичайної його роботи.

При настанні граничних зносів деталей ЦПГ спостерігається збільшення прориву газів в картер, підвищена витрата масла на угар, зростання токсичності відпрацьованих газів, зниження потужності двигуна на 5%, збільшення на 4 ... 5% питомої витрати палива [14].

Знос пари тертя «гільза – поршневе кільце» проявляється в складному різноманітті форм і залежить від великої кількості одночасно діючих факторів, тому гільзи циліндрів повинні володіти великою механічною міцністю, підвищеною жорсткістю, а їх контактна поверхня добре протистояти різним видам зношування. Найбільший знос спостерігається на відстані 22 ... 25 мм від верхнього краю в зоні зупинки кільця у верхній мертвій точці і коливається в широких межах від 0,005 до 0,5 мм.

Гільзи циліндрів двигуна СМД-14, Д-50, КамАЗ3740, СМД-60, що відпрацювали міжремонтний ресурс, мають середній знос внутрішньої поверхні 0,14 ... 0,22 мм, максимальний знос не перевищує 0,33 ... 0,51мм. При цьому 4 ... 7% гільз підлягають вибракуванню через тріщини і відколи; 83 ... 86% гільз вимагають відновлення до номінального або ремонтного розміру [14]. Вибракуванню підлягають гільзи зі зносом внутрішньої робочої поверхні більше 0,4 мм (для двигунів типу ЯМЗ – 0,35 мм). Овалоподібність і конусоподібність внутрішньої поверхні не повинні перевищувати 0,02 мм, шорсткість повинна бути не більше $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм [14].

За хімічним складом і розмірами гільзи несуттєво відрізняються одна від одної і являють собою тонкостінні порожнисті циліндри змінного перерізу (рис. 1.1).

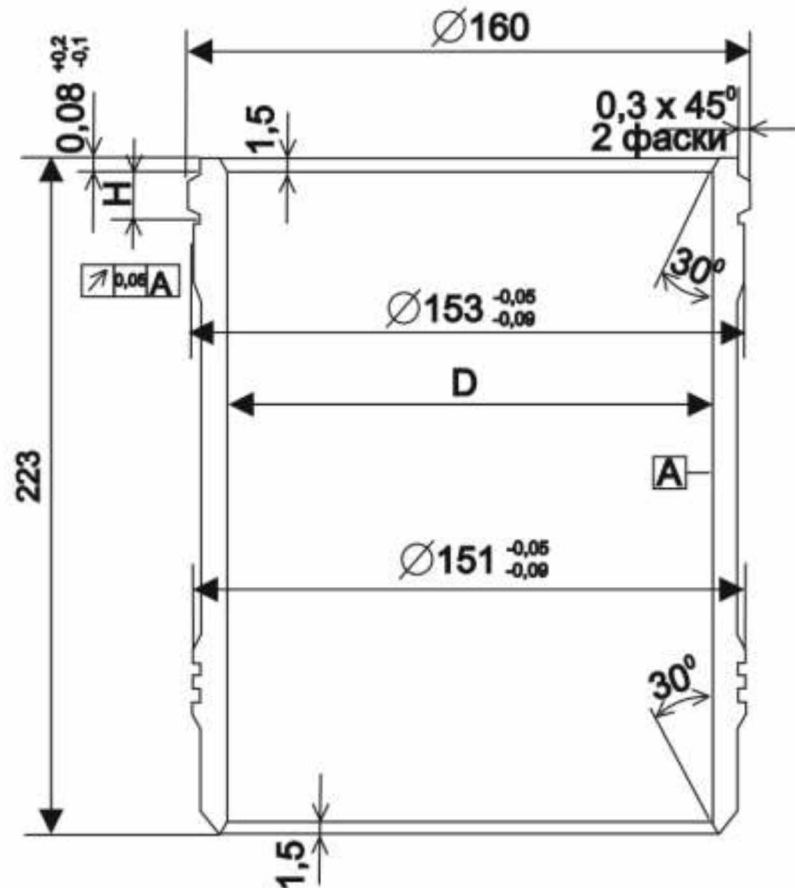


Рисунок 1.1 – Гільза циліндра двигуна СМД-60

Гільзи циліндрів двигунів ЯМЗ-240Б, ЯМЗ-238НБ, Д-240, СМД-60, СМД-14 – зі спеціального чавуну; двигунів КДМ-46, КДМ-100, Д-108 – з легованого чавуну ЛЧ-Г. Внутрішню робочу поверхню гільз гартують струмами високої частоти на глибину не менше 1,5 мм з подальшим відпуском для отримання твердості не нижче 40 HRC для гільз двигунів СМД-14, СМД-60, Д-50, Д-65Н, Д-108, КДМ-46, КДМ-100 і твердість HRC 42 ... 50 для гільз двигунів ЯМЗ238Н, ЯМЗ-240Б, А-01М, А-41 [14].

1.3. Аналіз способів відновлення гільз циліндрів

Знос різних груп деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин знаходиться в межах 0,01-10 мм. При цьому близько 83% деталей мають знос до 0,6 мм.

Знос поверхонь деталей розподіляється приблизно таким чином [15]:

- циліндричних – 52%;
- конічних і сферичних – 3%;
- шліців – 3%;
- пазів, канавок, лисок – 5%;
- різьб – 10%;
- плоских поверхонь – 1%;
- зубів шестерень – 2%;
- профільних, фасонних поверхонь – 1%;
- тріщин і зламів – 9%;
- порушення геометричної форми – 13%.

При цьому 60% найбільш часто зустрічаємих дефектів, зносу циліндричної поверхні, становить знос внутрішньої циліндричної поверхні.

Проблемі відновлення зношених внутрішніх поверхонь гільз циліндрів автотракторних двигунів, як однієї з найактуальніших, в даний час, присвячена величезна кількість досліджень. Розроблено і впроваджуються у виробництво нові способи відновлення і зміцнення, засновані на передових технологіях ремонтного виробництва, які за своєю технологією діляться на розточення під ремонтний розмір і відновлення до номінального розміру [7, 8, 10, 14].

Окремий інтерес представляють способи відновлення в номінальний розмір, які дозволяють багаторазово відновлювати внутрішню поверхню гільз циліндрів двигунів, враховуючі ті, що вийшли за ремонтний розмір, і виключають необхідність у виробництві поршнів і поршневих кілець.

Всі способи відновлення гільз в номінальний розмір можна розділити на три категорії: механічні, електричні, електрохімічні.

До механічних способів відноситься постановка додаткової ремонтної деталі (ДРД) у вигляді згорнутої сталеві стрічки. До електричних відносяться такі способи: індукційна відцентрова наплавка, контактна приварка сталеві стрічки, термопластичне деформування гільз, електродугова металізація. До електрохімічних способів слід віднести способи, засновані на застосуванні електролітичного осадження металів: хромування і залізнення (осталення) [15].

Контактна приварка сталеві стрічки. Застосування методу для відновлення внутрішньої поверхні гільз циліндрів двигунів широко розглянуто в літературі. Розроблено обладнання для контактної приварки сталеві стрічки [8, 16], обрані оптимальні режими приварювання, наведені марки сталі, з якої виготовляють стрічку і твердість привареного шару в залежності від матеріалу стрічки.

Дослідження показали, що мікротвердість у поверхні шва і перекриттів зон покриття, в залежності від марки стрічки і режимів приварювання, коливається в межах 5600 ... 8400 МПа, міцність зчеплення 100 ... 250 МПа [16]. Однак, після контактного приварювання, гільза знаходиться в складному напруженому стані, що характеризується розтягуючими залишковими напруженнями у внутрішній поверхні і стискаючими у зовнішній, міцність матеріалу відновленої гільзи складає 97 ... 56% від нової [6], може спостерігатися розтріскування гільзи уздовж твірної [5]. Спосіб вимагає застосування додаткового обладнання для згинання та різання стрічки, застосування відпуску для зняття внутрішніх напружень, відрізняється складністю обробки привареного шару і великою витратою дорогого інструменту при цьому. В наслідок неправильно обраних режимів спостерігається несплавлення в окремих місцях матеріалу стрічки зі стінкою гільзи. Спосіб відрізняється малою автоматизацією.

Індукційна відцентрова наплавка і напикання. У літературі описані способи із застосуванням різних порошкових матеріалів і їх сумішей, при різній температурі і швидкості обертання відновлюваної гільзи [16], розроблена установка і досліджені режими механічної обробки покриттів.

Даний спосіб дозволяє одержувати покриття з твердістю 55 ... 58 HRC [16]. Дані по зносостійкості відновлених гільз розходяться. Наприклад в [13] стверджується, що зносостійкість відновлених гільз двигунів підвищується в 4,8 ... 5,5 рази, в [10] наведені дані про підвищення зносостійкості в 1,8 ... 2,5 рази.

Істотними недоліками даного способу, що обмежують його застосування, є неможливість нанесення шару невеликої товщини і відповідно великі витрати на механічну обробку, висока енергоємність процесу, виникають розтягуючі залишкові напруження величиною 400 ... 600 МПа, що викликають викривлення і розтріскування наплавляемого шару, для зниження яких необхідно застосовувати високотемпературний відпуск, висока вартість наплавляемого матеріалу [16].

Застосування способів наплавлення веде до зниження втомної міцності матеріалу деталі на 30 ... 35%.

Термопластичне деформування (обтиснення) (ТПД). Розроблено і впроваджено на ремонтних підприємствах кілька різновидів способу відновлення гільз циліндрів двигунів ТПД, що відрізняються наявністю або відсутністю жорсткої охолоджуючої матриці і взаємним розташуванням індуктора і спресера [17].

При відновленні в матриці усадка внутрішньої поверхні гільзи становить 0,75 ... 0,90 мм. При цьому у відновлених гільз відбувається утворення тріщин через високі залишкові напружень. Усадка зовнішніх посадочних поясків становить 0,5...0,6 мм на діаметр [19]. У стінці гільзи отримані стискаючі залишкові напруження 80...120 МПа. Автор [19] стверджує, що ресурс відновленої гільзи становить не менше 100% від ресурсу нової, проте в [15] наведені дані 85...90%. Твердість внутрішньої

поверхні збільшується на 2...3% і становить HRC 42...45 [19], зносостійкість зберігається.

Істотними недоліками даного способу, що обмежують є наявність великого числа операцій механічної обробки. Поряд з усадкою внутрішньої поверхні гільзи відбувається усадка зовнішньої її поверхні. У зв'язку з усадкою зовнішньої поверхні гільзи вводиться додаткова операція електродугової металізації посадочних поясків з їх подальшою механічною обробкою, що вимагає застосування додаткового обладнання та суттєво здорожчує даний спосіб.

Для відновлення деяких марок гільз циліндрів потрібне застосування середнього відпуску для зняття високих залишкових напруг, що розтягують. Спосіб неможливо застосовувати для відновлення гільз циліндрів двигунів з повітряним охолодженням. Чисельні дані по мікротвердості в літературі відсутні.

Електродугова металізація. Розроблено установку для відновлення внутрішньої і зовнішньої поверхні гільз [17], технологія відновлення гільз, включаючи гільзи з повітряним охолодженням, проведені дослідження працездатності гільз, відновлених металізацією з наступним електроімпульсним легуванням різними матеріалами. Мікротвердість покриттів коливається в межах HRC 22...50, пористість 10...29%, адгезійна міцність 31,5 МПа.

Істотними недоліками даного способу є наявність великого числа операцій механічної обробки, що включає в себе абразивно-струменеву і токарну обробку перед нанесенням, розточування і хонінгування після нанесення покриття, низька адгезійна міцність. Дані по зносостійкості і практичному застосуванню відсутні.

Постановка додаткової ремонтної деталі (ДРД). Знос гільз відновлених постановкою ДРД в 2...2,5 рази менше ніж у гільз, відновлених за стандартною технологією. Твердість відновленої поверхні залежить від матеріалу стрічки.

Основними недоліками технологічного процесу відновлення є велике число операцій механічної обробки і необхідність застосування додаткового обладнання для гнуття, шліфування і запресовування мірних заготовок, що значно його здорожчує, відсутність зчеплення матеріалу стрічки зі стінкою гільзи, порушення теплообміну в стінці гільзи [18]. Процес вимагає високого ступеня точності всіх операцій.

Нанесення гальванічних покриттів. Найбільше застосування на практиці для відновлення розмірів та підвищення фізико-механічних властивостей гільз циліндрів двигунів знайшли залізнення (осталення) і хромування. Процеси нікелювання, міднення та цинкування через свої властивості не можуть застосовуватися для відновлення гільз циліндрів і складають всього 7% від загального числа гальванічних процесів [19].

У науково-технічній літературі описаний технологічний процес відновлення внутрішньої поверхні гільз циліндрів проточним хромуванням в холодному саморегулюючому електроліті. Мікротвердість осаду вище на 20...25% у порівнянні з осадами, отриманими в стаціонарних умовах і становить, в залежності від умов електролізу 8000...13500 МПа. Максимальна міцність зчеплення хрому з чавуном становить 210 Па [19]. Швидкість осадження до 0,5 мм покриття на годину, зносостійкість в 2 ... 3 рази більше ніж у нових гільз, проте даний спосіб вимагає застосування шліфування і хонінгування до і після осадження.

До основних недоліків хромування слід віднести низький вихід металу по струму (10 ... 16%), високі залишкові напруження, зниження втомної міцності відновлюваної деталі на 30 ... 40%, за деякими даними до 63% [12], високу вартість матеріалів, складність технологічних процесів, складний процес очищення стічних вод, трудомісткі і складні операції механічної обробки.

Покриття в процесі експлуатації зменшується в об'ємі на 15%, внаслідок чого спостерігається його розтріскування і відшарування.

Зважаючи на вищеперелічені недоліки широкого застосування для відновлення гільз хромування не отримало.

У науково-технічній літературі питанням відновлення деталей гальванопокриттями на основі заліза приділено багато уваги: представлені дослідження антифрикційних властивостей покриттів; обладнання гальванічних цехів; процеси, що протікають в електролітах при залізненні; дослідження процесів електроосадження з електролітів, що містять різні добавки; нові технологічні процеси; дано рекомендації з приготування і контролю електролітів; проектування установок залізнення; футеровка ванн; вибору режимів електролізу [19].

Товщина покриття після обробки складає 0,3 ... 0,6 мм, мікротвердість 5200 ... 5800 МПа. Міцність зчеплення покриттів з сірим, високоміцним і чавунами інших марок близька до міцності цих матеріалів на розрив [19].

Залізнення в порівнянні з хромуванням має низку переваг: високий вихід металу по струму (85 ... 95%), дешевизна вихідних матеріалів, можливість нанесення якісних покриттів товщиною до 3 мм, швидкість осадження покриття до 0,5 мм/год., найкраща розсіююча здатність електролітів, міцність зчеплення 450 ... 500 МПа, змочуваність осаду в 5 разів вище ніж у хрому.

Залізнення перевершує хромування по техніко-економічних показниках в 1,5 рази, енергетичному показнику в 4,5 рази. При терті у заліза, на відміну від хрому, на поверхні відбувається утворення окислів, і спостерігається підвищення мікротвердості осаду в 5 ... 6 разів.

Основними недоліками, що обмежують застосування залізнення, є низька мікротвердість і зносостійкість покриттів. У свою чергу, в літературі представлені різні, а іноді суперечливі, дані по технологічних процесах відновлення деталей залізненням.

Принципово новим способом відновлення деталей є гальвано-контактне осадження (ГКО) композитних покриттів, що полягає в пошаровому деформуванні покриття при його осадженні з одночасним

масовим перенесенням частинок інструментального матеріалу в покриття, що дозволяє наносити покриття заданої товщини з заданими фізико-механічними властивостями і виключити операції механічної обробки деталі до нанесення і самого покриття після нього [20].

Спосіб забезпечує різну швидкість осадження покриття на різні ділянки відновлюваної деталі в залежності від їх зносу, дозволяючи усувати геометричні похибки деталей, викликані зносом не використовуючи механічну обробку деталі до відновлення і/або покриття після нанесення, по-друге, регульоване впровадження інструментального матеріалу в покриття, дозволяє підвищити його мікротвердість і зносостійкість в порівнянні з покриттями отриманими за відомими на сьогоднішній день технологіями.

Як інструментальний матеріал застосовуються бруски спечені з карбідів металів. Застосування карбідів дозволяє підвищити фізико-механічні властивості електроосаджених залізних покриттів [7].

Основною проблемою в застосуванні залізнення в гільзах циліндрів, є наявність при роботі високих температур, що викликає зменшення мікротвердості і необхідність шліфування гільз до нанесення покриття і шліфування та хонінгування після нього, викликане похибкою форми. При відновленні гільз відомими способами $Ra = 0,32 \dots 1,3$ мкм, при допустимій $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм і відхилення від циліндричності $0,03 \dots 0,05$ мм, при допустимому $0,02$ мм. Спосіб ГКО дозволяє наносити покриття з $Ra = 0,02 \dots 0,04$ мкм з точністю, що дорівнює 4...5 квалітету, підвищити продуктивність процесу в 9...12 разів і знизити собівартість відновлення в 6 разів [21].

Висновки, мета і завдання досліджень

Практично всі сучасні способи відновлення і ремонту гільз циліндрів містять в своєму технологічному процесі операції механічної обробки, а деякі, як наприклад індукційна відцентрова наплавка, вимагають

застосування високих температур, що призводить до зміни структури поверхневого шару відновлюваної деталі, сприяє виникненню термічних напружень в матеріалі і просторового викривлення деталі.

Окремий інтерес представляють способи електролітичного відновлення деталей, тому що вони дозволяють наносити покриття заданої товщини з заданими фізико-механічними і експлуатаційними характеристиками при невеликих температурах, однак і вони вимагають застосування механічної обробки.

Виходячи з перерахованого вище, спосіб повинен забезпечувати виконання таких умов:

- забезпечення зносостійкості гільзи не нижче рівня нової;
- відновлення вихідних параметрів без застосування механічної обробки;
- підвищення жаростійкості покриття;
- стійкість до процесів корозії;
- міцність зчеплення покриття з деталлю на рівні міцності матеріалу гільзи на розрив;
- рівність коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів гільзи і покриття;
- забезпечувати продуктивність і економічність;
- хороші санітарно-гігієнічні умови процесу.

Найбільш оптимальним способом відновлення гільз циліндрів, що забезпечує виконання всіх умов, є гальвано-контактне осадження (ГКО) композитних покриттів на основі заліза.

Відповідно до цього, метою роботи є підвищення довговічності, зниження собівартості відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки способом нанесення композитного покриття на основі заліза.

На підставі поставленої мети, в роботі сформульовані наступні завдання досліджень:

1. Розробити пристрій і конструкції технологічного оснащення для підтримки роботи системи ГКО на основі залізної матриці на внутрішні циліндричні поверхні.

2. Дослідити вплив режимних параметрів нанесення композитних покриттів на основі заліза на їх фізико-механічні та експлуатаційні характеристики.

3. Визначити технологічні режими нанесення композитних покриттів на основі гальванічного заліза, що забезпечують необхідні фізико-механічні властивості покриття при нанесенні його на внутрішні циліндричні поверхні.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Вибір матеріалів, робочих середовищ та обладнання для досліджень

Для визначення режимних параметрів обробки способом ГКО дослідження проводилися на зразках, виготовлених зі спеціального чавуну ГОСТ 655-75, діаметром 40 мм і довжиною 65 мм загартованих СВЧ на глибину не менше 1,5 мм. Зразок представлений на рис. 3.1.

Досліджувався технологічний процес відновлення внутрішньої зношеної поверхні гільз циліндрів способом ГКО з отриманням на ній зносостійких пористих композитних покриттів на основі залізної матриці, зы стискаючими залишковими напруженнями і підвищеною адгезією до основи.



Рисунок 2.1 – Зразок для досліджень

Для проведення експерименту був спеціально розроблений і апробований новий технологічний процес, що найбільш повно задовольняє способу ГКО композитних покриттів на основі заліза.

Покриття осаджувалися в стандартному електроліті залізнення, що містить 300-350 г/л $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (рН = 1), котрий знайшов широке застосування на відновлювальних підприємствах.

Для проведення експериментальних досліджень електроліт приготувався з реактивів «ХЧ» і «ЧДА» на дистильованій воді.

Як аноди використовувалися пластини нарізані зі смуг сталы марки 10 ГОСТ 1050-88. Аноди завішували у ванні в чохлах, виготовлених з фільтрувальної тканини зі скловолокна ГОСТ 8481-75. Температура електроліту підтримувалася з точністю 1К за допомогою термометра ТПП-11 ГОСТ 13717-74 і контролювалася термометром ТН-5 ГОСТ 400-80 з ціною поділки шкали 0,2 К.

Щільність електроліту вимірювалася ареометром АЕ-1 ГОСТ 18481-81, кислотність рН - метромілівольтметром моделі рН-121. Фільтрація електроліту була постійною. Анодне травлення і нейтралізацію проводили в лужному електроліті, що містить 200-250 г/л каустичної соди, 100 г/л кальцинованої соди, 5-10 г/л рідкого скла, решта – вода.

Дослідження проводилися на спеціальній установці для відновлення внутрішніх циліндричних поверхонь. На установці можлива широка зміна параметрів ГКО: тиску інструменту, міжелектродної відстані, температури електроліту, щільності струму, швидкості головного і допоміжного руху.

Установка складається з наступних частин: головки ГКО, закріпленої на рамі, бака для електроліту, фільтра очищення повітря від парів електроліту, з'єднаного з витяжною вентиляцією, електрообладнання, встановленого в шафі і джерела струму ВАКР - 630 -24У4.

Головка ГКО, являє собою раму з встановленим на ній струмопідведенням, забезпеченим водяним охолодженням, і важелями, на яких шарнірно закріплені інструментальні гребінки з можливістю зворотно-поступального руху пластин і обертального руху зразка за допомогою електродвигунів постійного струму ДВ - 200 з планетарними редукторами.

Застосування пристрою дозволяє відновлювати деталі позаванним способом, підвищує рівномірність розподілу наповнювача за обсягом композитної матриці і рівномірність покриття по висоті деталі за рахунок рівномірного поновлення електроліту в міжелектродному просторі.

Схема пристрою представлена на рис. 2.2.

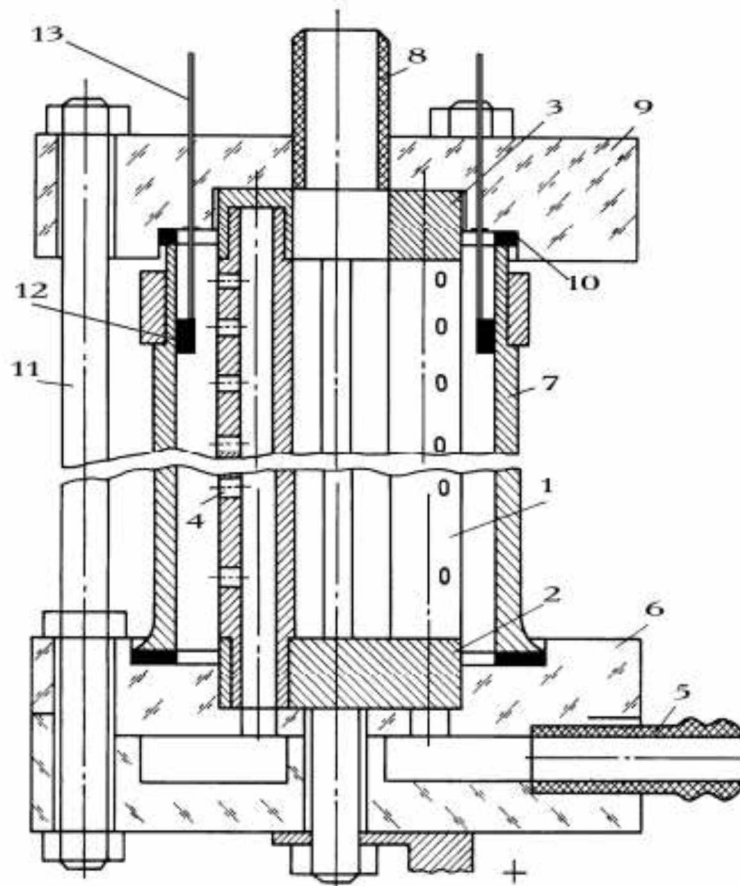


Рисунок 2.2 – Електролітична комірка для нанесення покриттів на внутрішню поверхню гільз циліндрів

Пристрій містить корпус у вигляді системи металевих трубок 1, з'єднаних з опорним 2 і центруючим 3 дисками. В трубках виконані отвори 4 для підведення електроліту. Причому отвори в горизонтальних площинах розташовані похило до радіальних напрямків під кутом $15 \dots 40^\circ$, а по висоті трубок отвори виконані з кроком, що зменшується догори на $1,0 \dots 2,0$ мм. Опорний диск 2 з'єднаний з розподільником електроліту 6, в який вмонтований підвідний штуцер 5. На центруючий диск 3 за допомогою

трьох шпильок 11 монтується кришка 9, в якій встановлений зливний штуцер 8.

Деталь 7 встановлюється в спеціально підготовлені пази в розподільнику електроліту 6 і кришці 9 через ущільнювачі 10. До деталі підведені інструментальні гребінки 13 з брусками зі спеціального композитного матеріалу 12. Слід зазначити, що вертикальне відхилення від рівномірного кроку і кутове відхилення каналів для закінчення електроліту розраховуються для кожної конкретної деталі.

Пристрій працює наступним чином. Електроліт від насосної установки через підвідний штуцер 5, розподільник електроліту 6, виконаний у вигляді замкнутої кільцевої порожнини, і далі по трубках 1 через отвори 4 в них подається до поверхні оброблюваної деталі 7. Відведення електроліту із зони електролізу здійснюється через щілини між трубками 1 у внутрішню порожнину, утворену ними, і далі через зливний штуцер 8. Герметичність електролітичного осередку забезпечується щільним притисненням кришки 9 через ущільнення 10 за допомогою трьох шпильок 11.

Зменшення відстані між отворами дозволяє компенсувати різну швидкість витікання струменів електроліту з нижніх отворів (велика швидкість) і верхніх отворів (менша швидкість), а зміна кутів закінчення дозволяє поліпшити циркуляцію в міжелектродному просторі.

Регулювання обертів двигунів здійснюється за допомогою автотрансформаторів ЛАТР 1М. Струмopідведення на зразок здійснюється міднографітовими щітками через колектор, закріплений на шпинделі.

Анодами служать пластини, нарізані зі смуг сталі марки Ст10 ГОСТ 1050-88. Аноди за допомогою штанг закріплені на рамі з можливістю регулювання міжелектродного зазору.

У зв'язку з тим, що в процесі відновлення відбувається зменшення діаметра відновлюваної деталі і можливий неконтрольований ріст тиску інструменту на зростаюче покриття, який може викликати поломку

інструменту або переміщення самого покриття, робочий інструмент був спроектований таким чином, щоб мати можливість радіального переміщення.

Бак для електроліту складається з внутрішнього бака, виготовленого з титанового сплаву ОТ - 4 ОСТ 190024 - 71 і зовнішнього бака, виготовленого зі сталі 12Х18Н10Т.

Підігрів електроліту, що знаходиться у внутрішньому баку ємністю, здійснюється трубчастими нагрівальними елементами ТЕН - 100А 13/4 Р220, розміщеними в просторі між баками, заповненому водою.

Інструмент для нанесення композитних покриттів на основі заліза на внутрішні циліндричні поверхні представлений на рис. 2.3



Рисунок 2.3 – Інструмент для нанесення композитних покриттів на основі заліза на внутрішні циліндричні поверхні

Відмінною рисою даної конструкції є забезпечення гарантованої міжелектродної відстані між анодом і деталлю, сталості відрегульованого тиску інструменту на покриваему поверхню, забезпечується пружними брусками, а також постійне прокачування електроліту в міжелектродний зазор, що забезпечує необхідну концентрацію робочого середовища, необхідних для отримання якісних гальванічних композитних покриттів на основі заліза.

Устаткування забезпечено шпинделями широкого типорозміру, що дозволяє легко відновлювати композитним покриттям отвори діаметром 70 - 250 мм без побоювання втрати жорсткості технологічної системи в цілому. Контроль товщини осадженого покриття ведеться за допомогою приладу активного контролю, яким оснащена установка ГКО.

2.2. Методика проведення експериментальних досліджень

Шорсткість поверхні Ra і Rz, мкм одержуваних покриттів визначалася на профілографі-профілометрі Mitutoyo SJ-201P.

Мікротвердість осаджених покриттів вимірювалася на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні на піраміду 0,49 Н за методом відновленого відбитка, із застосуванням в якості наконечника алмазної чотиригранної піраміди з квадратною основою.

Вимірювання проводили в 10 точках. Мікротвердість обчислювали як середньоарифметичне результатів окремих вимірювань.

Виходячи з умов роботи гільз циліндрів і властивостей електроосаджених залізних покриттів, проводилися дослідження впливу температури нагріву на зміну мікротвердості осадженого покриття.

Корозійні випробування проводилися в камері соляного туману КСТ-2 в атмосфері розпорошеного розчину хлористого натрію концентрацією 50 г/дм³ при температурі 35°C протягом 24 годин.

При визначенні маслостійкості зразок з покриттям зважували, занурювали в масло, нагріте до температури 130°C, і витримували в ньому до температури 25°C. Потім зразок витягували, видаляли надлишок масла фільтрувальним папером і зважували.

Зносостійкість покриттів визначалася на машині тертя МІ-1М за схемою «ролик-колодка» в умовах сухого тертя ваговим методом.

Паралельно проводилися порівняльні випробування гільз циліндрів відновлених ГКО і нової на одноциліндровому чотиритактному двигуні і

прискорені стендові випробування на дизельному двигуні СМД-60 з введенням в масло кварцового піску. Товщину покриття визначалася за допомогою кулонометричного товщиноміра Лімеда - ДЕМ.

2.3. Математична обробка експериментальних даних

Можлива помилка в дослідах і показник їх точності визначається за наступною методикою:

1. Результати кожного виміру записуються в таблицю;
2. Знаходиться середнє арифметичне значення вимірюваних величин:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.1)$$

де X_i – значення величини, що вимірюється;

n – число вимірів;

3. Знаходяться похибки окремих вимірів:

$$\delta_{xi} = X_{cp} - X_i, \quad (2.2)$$

4. Обраховуються квадрати похибок окремих вимірів $(\delta_{xi})^2$;

5. Визначається середня квадратична похибка результату серії вимірів:

$$\delta_{S_{xcp}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{xi})}{n \cdot (n-1)}, \quad (2.3)$$

6. Приймається значення надійності і визначається коефіцієнт Стьюдента t_α заданої надійності α і числа проведених вимірів;

7. Знаходиться похибка результатів вимірів:

$$\delta_{xi} = t_\alpha(n) \cdot \delta_{S_{xcp}}, \quad (2.4)$$

8. Кінцевий результат записується у вигляді:

$$X_i = X_{cp} \pm \delta_{xi}, \quad (2.5)$$

9. Оцінюється відносна похибка результату серії вимірів:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{xi}}{X_{cp}} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

Отже, згідно даної методики будемо визначати похибку і точність отриманих даних під час проведення дослідів.

Висновки

1. Приведено вибір матеріалів, робочих середовищ, обладнання та методику для досліджень.
2. Запропоновано спосіб розмірного відновлення зношеної внутрішньої поверхні гільз циліндрів, що дозволяє усунути з циклу технологічного процесу попередню і фінішну механічну обробку.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Моделювання зусилля механічного впливу

В даний час великий інтерес для промисловості і для відновлення сільськогосподарської техніки зокрема, представляють покриття з наперед заданими властивостями.

Для прогнозування фізико-механічних і експлуатаційних властивостей одержуваних композитних покриттів способом ГКО необхідно вміти прораховувати напруження, що виникають в нанесеному покритті в процесі його гальванічного осадження. Як зазначалося раніше, процес ГКО характеризується одночасним механічним впливом на гальванічно осаджене покриття. Причому, як інструмент використовується знову синтезований матеріал, що забезпечує регульоване масове перенесення інструментального матеріалу в осаджене покриття, що дозволяє отримувати композитні покриття на основі гальванічної матриці. У зв'язку з цим, побудована модель деформування двокомпонентного композитного матеріалу з пружно-пластичними включеннями і пружною матрицею.

Як відомо пластичний потік в цьому випадку починається одночасно в усіх точках включень. Пропонується модель, що враховує виникнення зон пластичного потоку в окремих областях включень, що відповідає технологічній схемі деформації покриття, і їх поширення на весь обсяг включень.

Нехай двокомпонентний композитний матеріал займає об'єм V , обмежений поверхнею S . Перший компонент композиту утворює ідеально пружну зв'язуючу матрицю V_1 :

$$\sigma_{ij} = 2\mu_1 \varepsilon_{ij} + \delta_{ij} \lambda_1 \varepsilon_{qq}, \quad (3.1)$$

а другий компонент V_2 являє собою окремі пружнопластичні включення сферичної форми:

$$\sigma_{ij} = 2\mu_2(\varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^p) + \delta_{ij}\lambda_2\varepsilon_{qq}, \quad (3.2)$$

де σ_{ij} , ε_{ij} – компоненти тензорів локальних напружень і повних деформацій, ε_{ij}^p – компоненти тензора пластичних деформацій, δ_{ij} – коефіцієнт товщини елементарного шару, μ_s , λ_s – параметри Ламі ізотропних компонентів, пластичні деформації задовольняють умові нестискання: $e_{qq}^p = 0$.

Пластичні властивості матеріалу включень задаються поверхнею текучості Мізеса з відповідним асоційованим законом потоку:

$$s_{ij}s_{ij} = k_2^2, \quad s_{ij} = k_2 \frac{e_{ij}^p}{\sqrt{e_{kl}^p \cdot e_{kl}^p}}. \quad (3.3)$$

Де $s_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3}\delta_{ij}\sigma_{qq}$, $e_{ij} = \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3}\delta_{ij}\varepsilon_{qq}$, k_2 – межа текучості включень.

Геометрична структура такого двокомпонентного композитного матеріалу описується випадковою ізотропною функцією координат $k_2(r)$, що дорівнює одиниці в обсязі V_2 і нулю поза цим обсягом. Крім того, геометричні особливості виникають і розвиваються в обсязі включень зон пластичного потоку V_P описує додаткова індикаторна функція $k_p(r)$, що дорівнює одиниці в обсязі V_P ($0 \leq V_P \leq V_2$) і нулю поза цим обсягом.

За допомогою цих функцій локальний закон Гука для середовища записується у вигляді:

$$\sigma_{ij}(r) = 2\mu_i\varepsilon_{ij}(r) + \delta_{ij}\lambda_1\varepsilon_{qq}(r) + (2[\mu]\varepsilon_{ij}(r) + \delta_{ij}[\lambda]\varepsilon_{qq}(r))k_2(r) - 2\mu_2e_{ij}^p(r)k_p(r). \quad (3.4)$$

Індикаторні функції, напруження, повні та пластичні деформації передбачаються статично однорідними і ергодичними випадковими полями, тому їх математичні очікування замінюються середніми значеннями за повною місткістю V , обсягами компонентів V_s ($s = 1, 2$) і обсягом V_P [18]:

$$\langle f \rangle = \frac{1}{V} \int_V f(r) dr, \quad \langle f \rangle_{s,p} = \frac{1}{V_{s,p}} \int_{V_{s,p}} f(r) dr, \quad (3.5)$$

де кутовими дужками позначена операція усереднення.

Для визначення макроскопічної поведінки розглянутого композитного матеріалу і обчислення його ефективних характеристик локальні рівняння (3.1) і (3.2) необхідно усереднити за обсягами V і V_P .

Для визначення макроскопічної поведінки композитного матеріалу за межею пружності необхідно усереднити співвідношення (3.1) за обсягом зони пластичного потоку V_P . Застосування до першого з співвідношень (3.3) допущення про відсутність флуктуацій величин в обсягах V_2 і V_P і правила механічного змішування дає:

$$\left(\langle e_{ij} \rangle_P - \langle e_{ij}^P \rangle_P \right) \left(\langle e_{ij} \rangle_P - \langle e_{ij}^P \rangle_P \right) = \frac{k_2^2}{4\mu_{22}}. \quad (3.6)$$

Загальний вигляд рівняння навантаження покриття при його гальванічному нанесенні матиме такий вигляд:

$$\langle P_{Икр} \rangle = \frac{k_2}{m} (1 + (\alpha_1 c_1 + c_2)(m-1)) \frac{\langle e_{ij} \rangle \tau}{l} + 2\mu \left[\frac{\frac{k_2}{m} (1 + (\alpha_1 c_1 + c_2)(m-1))}{k_2 c_P} (1 + \alpha_1 ((m-1)c_1 - m(1-c_P))) - 1 \right] \frac{\delta_{ij}}{l}, \quad (3.7)$$

де: $P_{Икр}$ – максимальний тиск інструменту на покриття в процесі його осадження, МПа;

k_2 – межа плинності наповнювача МПа;

α_1, m – коефіцієнти, що розраховуються за рекомендацією [8];

c_1 – постійна, що характеризує властивості матеріалу матриці;

c_2 – постійна, що характеризує властивості матеріалу наповнювача;

c_P – коефіцієнт, що враховує схему дії зовнішніх сил;

e_{ij} – задана швидкість деформації покриття, м/хв.;

τ – період впливу на певну точку покриття, хв.;

l – довжина використовуваного інструменту, м;

μ – ефективний модуль зсуву одержуваного композиту, МПа;

δ_{ij} – товщина елементарного шару композиту в місці контакту з інструментом, м.

Ефективна межа текучості k характеризує початкову поверхню текучості. Вона є лінійною функцією концентрації і при $c_2 = 1$ дорівнює межі текучості матеріалу включень k_2 . Коефіцієнт зміцнення n задає швидкість переміщення і деформування циліндра Мізеса в шестивимірному просторі напружень.

Отримавши значення критичної сили впливу на композитне покриття в процесі його осадження, необхідно створити модель, що дозволяє розраховувати зусилля для інструменту з метою отримання планованих залишкових напружень в покритті. Це дозволить створювати гальванічні композитні покриття з наперед заданими фізико-механічними і експлуатаційними властивостями.

З теорії деформування відомо:

$$\sigma_z = -\frac{2\tau_k}{h}x + C, \quad (3.8)$$

де σ_z – осьові напруги, МПа; τ_k – дотичні напруження на майданчику контакту з інструментом, МПа; x – відстань до даної точки напруженого стану, м; h – розмір покриття осадженого на ділянці деталі між двома послідовними проходами інструменту, м; C – постійна, що визначає напруги, отримані на попередньому етапі формування поверхневого шару, МПа.

У нашому випадку величина C визначає напруження, отримані покриттям під час його впливу з інструментом на етапі попередньому розглянутому моменту часу.

Схема механічного впливу інструменту на осаджене покриття представлена на рис. 3.1.

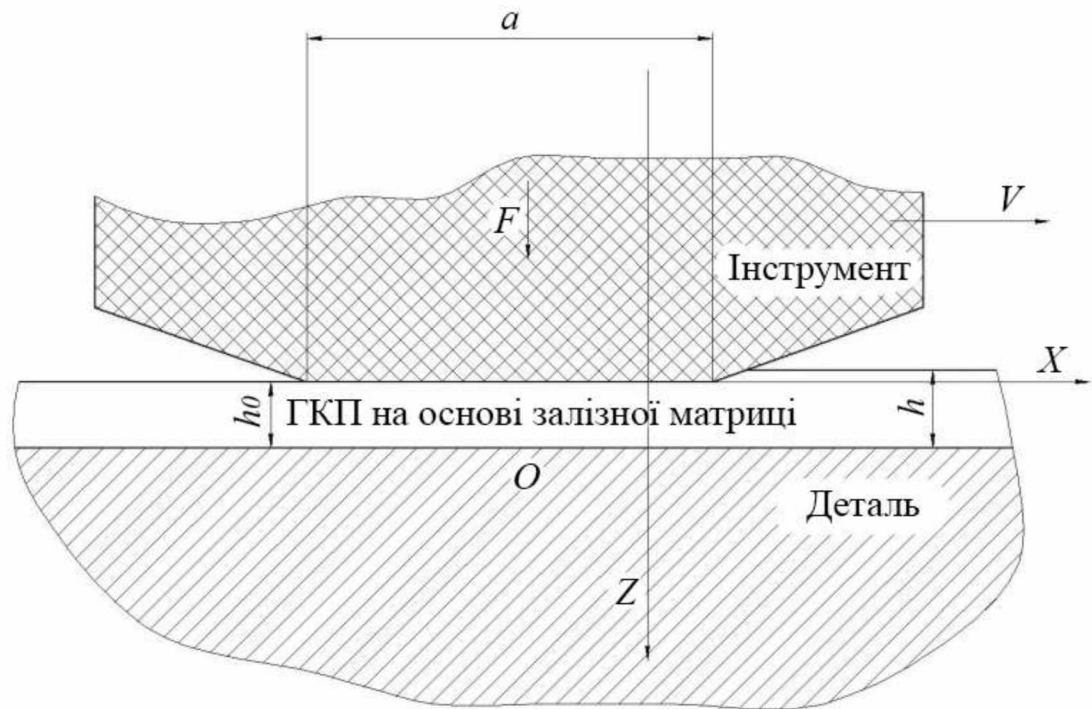


Рисунок 3.1 – Схема деформування покриття при осадженні

Логічно припустити, що в крайніх точках контактної поверхні, тобто при $x = \pm 0,5a$, і при наявності тертя початкове значення напруги σ_z для моменту часу початку механічної дії також одно $-\sigma_s$, і з цього значення абсолютна величина його зростає в міру зменшення координати x , що обумовлено механікою взаємодії інструменту з покриттям.

Отже, вважаючи, що при $x = \pm 0,5a$ напруга $\sigma_z = -\sigma_s$ за рівнянням (3.8) отримаємо:

$$C = -\sigma_s + \frac{\tau_k a}{h}, \quad (3.9)$$

де a – довжина контактної поверхні інструменту, м; σ_s – напруга в композиті, МПа.

А підставляючи отримане значення постійної в рівняння, отримаємо:

$$\sigma_z = -\sigma_s + \frac{\tau_k(a - 2x)}{h}. \quad (3.10)$$

Так як τ_k прийнято постійним, то його можна виразити за рівняннями плоского деформованого стану [20], яке має вигляд:

$$\tau_k = -\mu_s \sigma_s, \quad (3.11)$$

де μ_s – коефіцієнт тертя композитного матеріалу.

Підставивши цей вираз τ_k в рівняння (3.8), отримаємо остаточне значення σ_z :

$$\sigma_z = -\sigma_s \left[1 + \frac{\mu_s (a - 2x)}{h} \right]. \quad (3.12)$$

Отримана формула може легко використовуватися для визначення необхідного тиску інструменту при технологічних розрахунках параметрів осадження покриттів із заданими властивостями.

3.2. Вплив кінематичних параметрів механічного впливу і геометрії інструменту на процес формування відновлюваного шару

Особливість способу гальвано-контактного осадження (ГКО) полягає в періодичній пружнопластиній деформації зростаючих шарів покриття в процесі їх осадження за допомогою інструменту. Таким чином, періодичний механічний вплив на зростаючі кристали гальванічного заліза 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. Даний процес повторюється періодично під час проведення процесу ГКО. З огляду на цю особливість способу, зрозуміло, що на поверхні деталі виходить шаруватий композит.

Принцип способу ГКО при нанесенні гальванічного композиту на внутрішні циліндричні поверхні полягає в одночасному поєднанні обертального руху інструменту і його зворотно-поступального руху в процесі нанесення покриттів. Схема способу показана на рис. 3.2, де під номером 1 показана деталь, а під номером 2 інструмент. При товстошаровому відновленні внутрішніх циліндричних поверхонь деталей гальвано-контактним способом особливу роль відіграє траєкторія періодичних

низькочастотних переміщень інструменту, яка має контакт з поверхнею оброблюваної деталі [18, 20], як фактор формоутворення нарощуваних шарів композитного матеріалу.

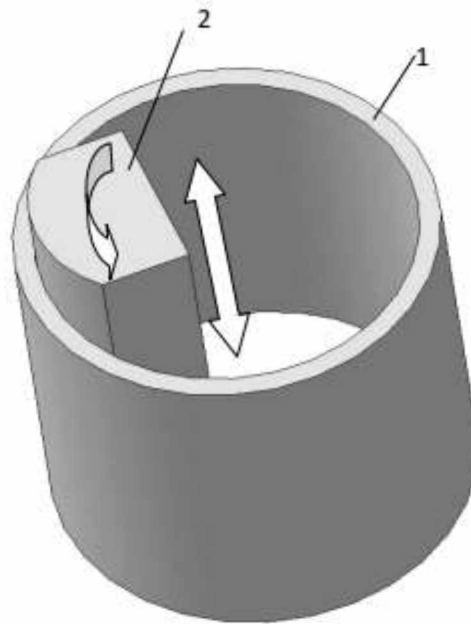


Рисунок 3.2 – Схема способу ГКО

Зворотно-поступальне переміщення може бути здійснено різними способами, найдоступнішим з яких є рух за допомогою кривошипно-шатунного механізму. При цьому необхідно, щоб сумарне переміщення інструменту забезпечувало повне перекриття відновлюваної поверхні слідами інструменту. Саме ця кінематика руху інструменту застосована в установках для гальвано-контактного способу осадження композитних покриттів на основі заліза на внутрішні циліндричні поверхні.

Кривошипно-шатунний механізм переміщує інструмент зворотно-поступально уздовж осі відновлюваної деталі. Це переміщення має синусоїдальний характер і описується найпростішим рівнянням гармонічних коливань:

$$y = A \cos(mx), \quad (3.13)$$

де y – величина поздовжнього переміщення інструменту уздовж осі циліндра; x – величина зміщення інструменту відносно поверхні циліндра,

що обертається; A – амплітуда переміщень інструменту уздовж осі циліндра; в нашому випадку вона дорівнює радіусу кривошипа або половині висоти циліндра $A = R_{кр} = H_{ц}/2$; m – коефіцієнт, що впливає на зміну величини переміщення інструменту відносно поверхні циліндра, що обертається [21]; в нашому випадку він буде дорівнює відношенню частоти обертання кривошипа до частоти обертання циліндра:

$$m = \frac{n_{кр}}{n_{ц}}. \quad (3.14)$$

Для відображення слідів на оброблюваній поверхні представимо поверхню циліндра у вигляді нескінченно розгортаючої поверхні постійного діаметра (рис. 3.3). Кожен оберт циліндра дасть плоску ділянку з довжиною $l = 2\pi R_{ц}$, що дорівнює довжині окружності циліндра, і шириною, що дорівнює висоті циліндра $H_{ц}$.

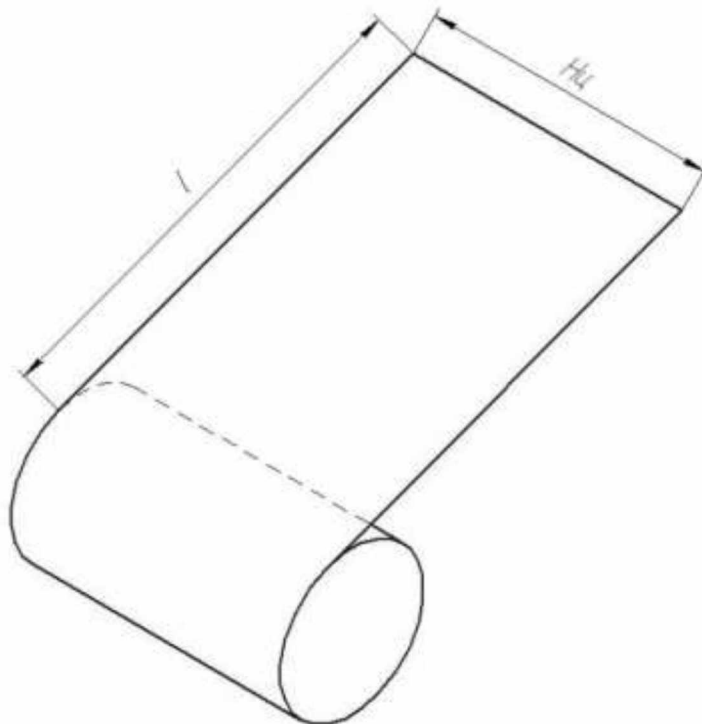


Рисунок 3.3 – Схема розгортання оброблюваної циліндричної поверхні

Найпростішим варіантом траєкторії середньої точки плями контакту інструменту буде випадок, коли частота обертання кривошипа і частота обертання циліндра збігаються, тобто $m = 1$, рівняння (3.13) набуде вигляду

$y = R_{кр} \cos x$, а за один повний оберт циліндра ($x = 2\pi R_u$) середня точка зробить один повний подвійний хід уздовж осі циліндра. Картину такого переміщення можна представити і описати графіком траєкторії середньої точки (рис. 3.4) плями контакту інструменту, що ковзає по відновлюваній циліндричній поверхні.

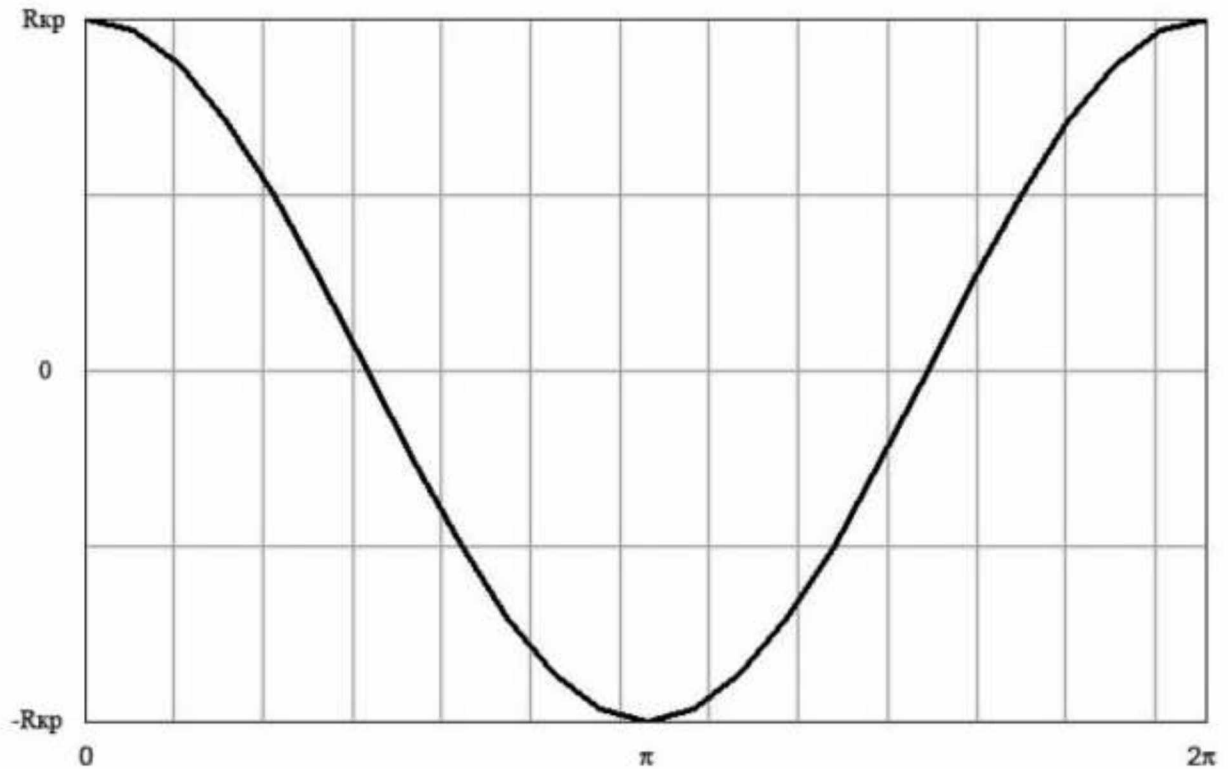


Рисунок 3.4 – Графік траєкторії переміщення точки плями контакту інструменту по циліндричній поверхні

Графік на рис. 3.4 показує, що середня точка плями контакту інструменту з поверхнею після одного, двох і так далі обертів повертається у вихідне положення. Це неминуче призводить до того, що сліди вигладжувачого елемента не повністю охоплюють відновлювану поверхню, тобто є «прогалини» – ділянки, на які інструмент не заходить.

З графіка (рис. 3.5) видно, що відстань між слідами середніх точок по висоті циліндра в однойменних положеннях неоднакова. У торців циліндра ця відстань мінімальна. При наближенні до центру відстань між сусідніми слідами збільшується і посередині досягає свого максимуму. Зміна відстані

між слідами також носить синусоїдальний характер. Тому для повного перекриття відновлюваної поверхні максимальна відстань між сусідніми слідами повинна бути менша або дорівнювати довжині лінії контакту інструменту, що досягається регулюванням частоти обертання кривошипа і шпинделя установки, що теоретично рівнозначно зміні коефіцієнта m .

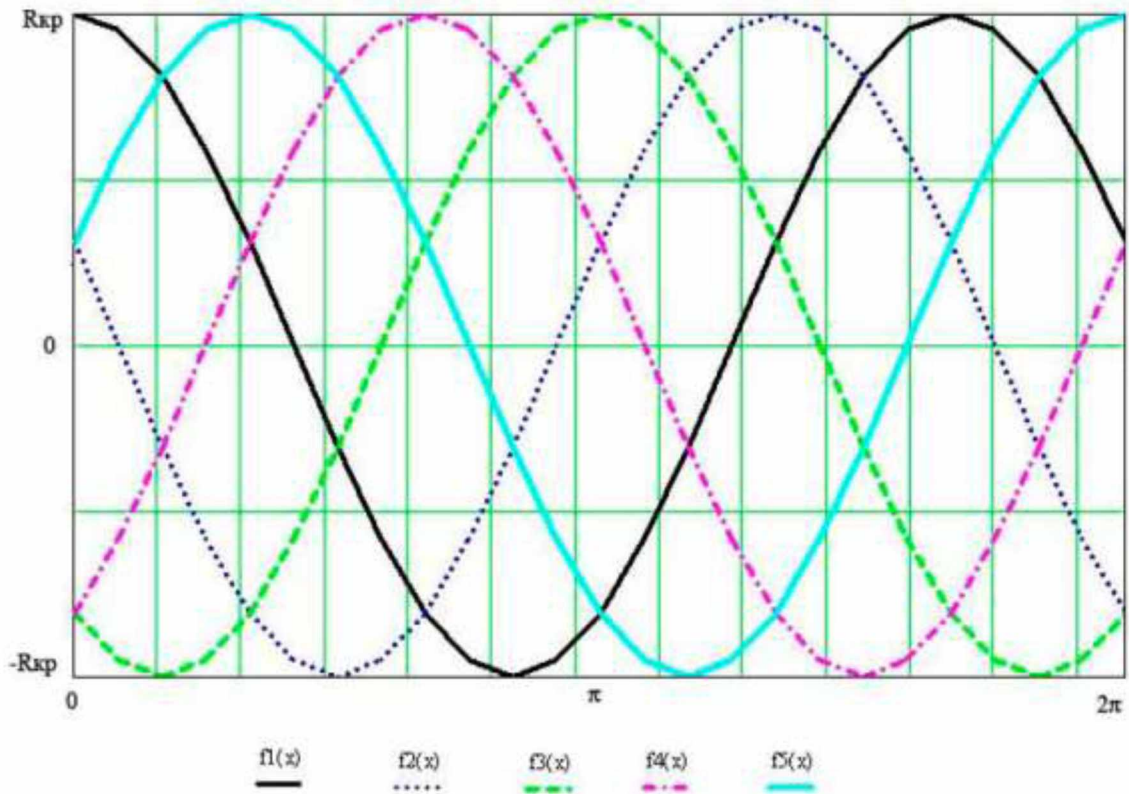


Рисунок 3.5 – Сліди траєкторії переміщення середньої точки плями контакту інструменту з оброблюваною поверхнею при русі інструмента за законом $y = R_{кр} \cos(1,2x)$

Очевидно, що інструмент при зворотно-поступальному русі не може мати на всьому протязі деталі однакову лінійну швидкість переміщення. Вона максимальна в середній частині шляху переміщення, мінімальна на початку і кінці і дорівнює нулю в точці зміни напрямку руху. А це, виходячи з відомостей наведених в [22], призводить до того, що в тих областях, де швидкість інструменту мінімальна, між механічними діями інструменту осідає шар покриття більшої товщини, ніж на ділянці деталі з максимальною швидкістю проходження його.

Однак, відстань між слідами середньої точки плями контакту не постійна, тому у торців циліндра буде більш щільне нашарування слідів лінії контакту, а отже, це частково або повністю компенсує різницю в товщині осаджуваного шару металу по довжині вздовж осі відновлюваної циліндричної поверхні.

У підсумку, при гальвано-контактному відновленні траєкторія середньої точки плями контакту одного інструментального бруска з відновлюваною поверхнею, подібна до представленої на рис. 3.6, дозволяє більш повно охопити відновлювану поверхню слідами інструменту, а за умови, що максимальна відстань між сусідніми слідами менше або дорівнює довжині лінії контакту інструменту це забезпечить більш рівномірні осадки, ніж при інших способах гальванічного осадження.

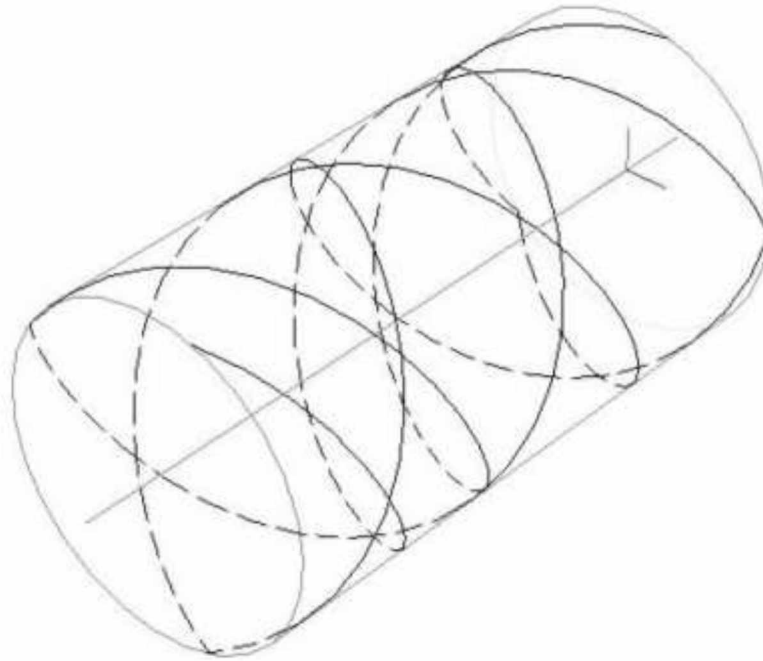


Рисунок 3.6 – Траєкторія контакту з відновлюваною циліндричною поверхнею одного інструментального бруска

Переважає більшість гільз циліндрів двигунів має довжину робочої поверхні, яка підлягає відновленню, більшу ніж довжина одного контактного елемента. Тому для повного охоплення відновлюваної поверхні слідами інструменту необхідно використовувати відразу кілька інструментальних

пластин, що контактують з деталлю, об'єднаних в один інструментальний блок (рис. 3.7).

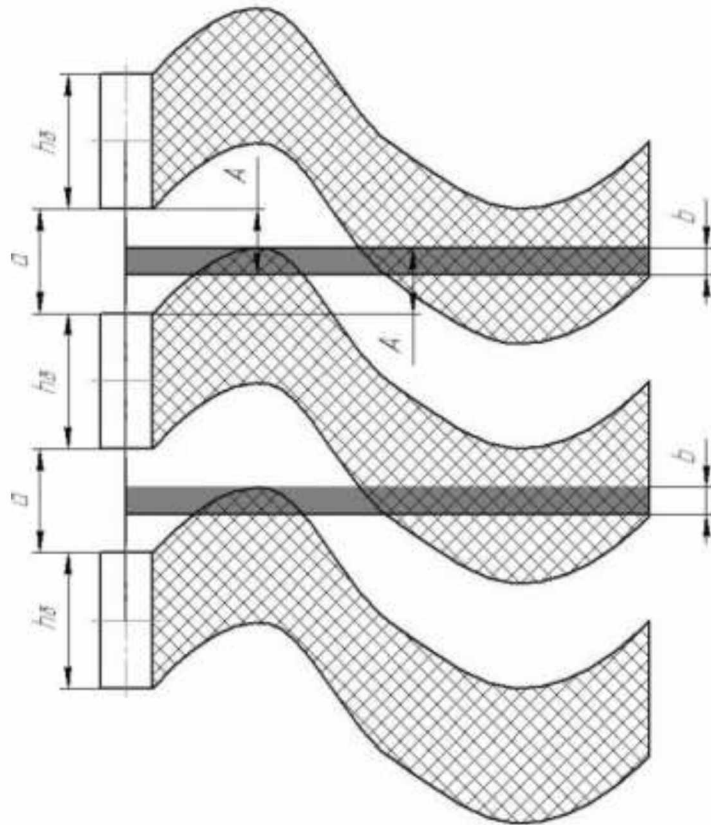


Рисунок 3.7 – Схема кінематичного контакту інструментальних брусків в головці ГКО для відновлення внутрішньої циліндричної поверхні

При цьому повинна виконуватися така умова:

$$l_{ен} \leq h_{пг} + 2A, \quad (3.15)$$

де $l_{ен}$ – довжина відновлюваної циліндричної поверхні деталі, м; $h_{пг}$ – висота робочої частини інструментальної головки, м; A – амплітуда поздовжніх зворотно-поступальних переміщень інструментальної головки, м.

Для повної обробки відновлюваної поверхні інструментальною головкою сліди сусідніх інструментальних пластин повинні перекривати один одного на якусь певну величину. Амплітуда поздовжніх зворотно-поступальних переміщень інструменту при цьому розраховується за формулою:

$$A = \frac{a+b}{2}, \quad (3.16)$$

де b – величина перекриття слідів інструменту, м (раціональна величина $\approx (3...7) \times 10^{-3}$ м).

Після перетворень отримаємо умову для повного охоплення відновлюваної поверхні слідами інструменту:

$$l_{en} \leq x_{\sigma} (h_{\sigma} + a) + b. \quad (3.17)$$

Отримано аналітичні залежності, що зв'язують геометричні параметри інструменту з кінематикою його руху, дозволяє уникнути ефекту «залісин» при осадженні покриття.

3.3. Дослідження властивостей нанесеного покриття

З аналізу літературних джерел [15] відомо, що наступне нагрівання покриттів електролітичного заліза впливає на фізико-механічні властивості покриттів, зокрема зниження їх мікротвердості, що для покриття гільз двигунів внутрішнього згоряння має важливе значення.

З огляду на цей фактор, а також умови роботи гільз, було проведено дослідження залежності мікротвердості покриттів від температурних умов експлуатації. Порівнювалися три процеси: стандартного залізнення, гальвано-механічного осадження заліза (ГМО) і ГКО композитних покриттів на основі заліза. Дані по проведеному дослідженню представлені на рис. 3.8.

Аналізуючи графік, видно, що покриття осаджені за стандартною технологією і технологією ГМО в початковий період підвищення температури збільшують мікротвердість на 4%, яка досягає максимуму при температурі 300°C.

Пояснюється цей факт наявністю спотворення кристалічної решітки матеріалу, викликаного температурним нагріванням. Спосіб ГКО в силу своєї сутності, заснований на спотворенні кристалічної решітки матеріалу покриття в процесі його осадження, тому покриття осаджені цим методом не схильні до ефекту зміни мікротвердості в температурному режимі до 300°C, яка при нагріванні нижче цієї температури залишається постійною.

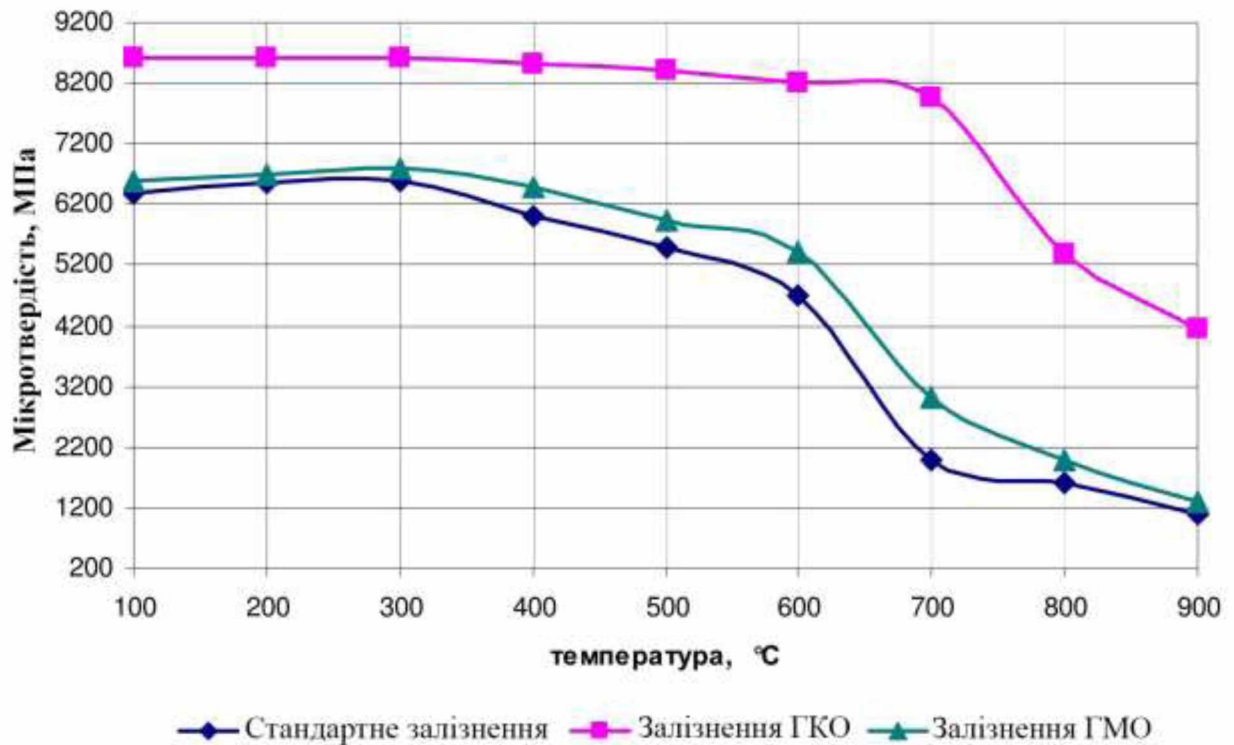


Рисунок 3.8 – Вплив температури на мікротвердість залізних покриттів

Подальше підвищення температури знижує мікротвердість у всіх видів покриттів, однак осадки отримані методом гальвано-контактного осадження, залишаються весь час за період випробувань на рівні вищої мікротвердості і мають більш низьку швидкість її зниження. Така тенденція залежності мікротвердості від температури спостерігається до 600°C у стандартних покриттів і покриттів, отриманих способом ГМО і до 700°C для покриттів отриманих ГКО. При перевищенні цієї температури відбувається різке зниження мікротвердості покриттів всіх типів, і вже при температурі 900°C мікротвердість стандартного покриття і покриття, отриманого способом ГМО становить 1100-1200 МПа, тоді як покриття отримані ГКО зберігають мікротвердість на рівні 4000 МПа.

Міцність зчеплення залізних покриттів є найважливішим фактором, що характеризує можливість застосування залізнення, як способу відновлення зношених деталей машин.

Дослідження показали, що середньоквадратична висота нерівностей поверхні катода ($H_{СК}$) справляє помітний вплив на міцність зчеплення

залізних покриттів. Зі збільшенням шорсткості поверхні міцність зчеплення зростає. Однак це зростання припиняється, коли $H_{ск}$ досягає 25 мкм. Найкраще зчеплення з чавуном спостерігається при середньоквадратичному відхиленні шорсткості поверхні катода від 10 до 20 мкм.

Підвищення міцності зчеплення покриття зі збільшенням шорсткості поверхні катода пояснюється збільшенням в цьому випадку площі їхнього зіткнення. Зниження міцності зчеплення при подальшому збільшенні $H_{ск}$ більше 20 мкм викликано тим, що зазначена шорсткість частково екранує западини поверхні катода і тим самим зменшує площу зіткнення. Можливо, що при цьому в утворених порожнинах затримується електроліт, який в подальшому викликає окислення граничного шару, що також знижує міцність зчеплення. Взагалі міцність зчеплення покриття з чавуном нижча, ніж зі сталлю, що пояснюється малою площею контакту, так як чавун неоднорідний, пористий і містить велику кількість вільного вуглецю та інших неметалевих включень.

Як показали дослідження, режим електролізу також дуже впливає на міцність зчеплення. Особливо помітний вплив робить температура електроліту, що представлено на рис. 3.9. Зі збільшенням температури зчеплення зростає, досягає максимуму (при $t = 90^\circ\text{C}$), а потім залишається приблизно постійним (424-440 МПа).

Збільшення катодної щільності струму з 20 до 28 А/дм² дещо підвищує міцність зчеплення. Подальше підвищення щільності струму призводить до незначного зменшення міцності зчеплення покриття.

З підвищенням температури електроліту і зниженням щільності струму катодна поляризація зменшується, умови електрокристалізації поліпшуються, а це сприяє в початковий період електролізу кращому відтворенню структури катода. Покриття в цьому випадку виходять крупнозернистими і з меншими внутрішніми напруженнями. Все це покращує міцність зчеплення. Інші параметри процесу практично не впливають на адгезію композитних залізних покриттів.

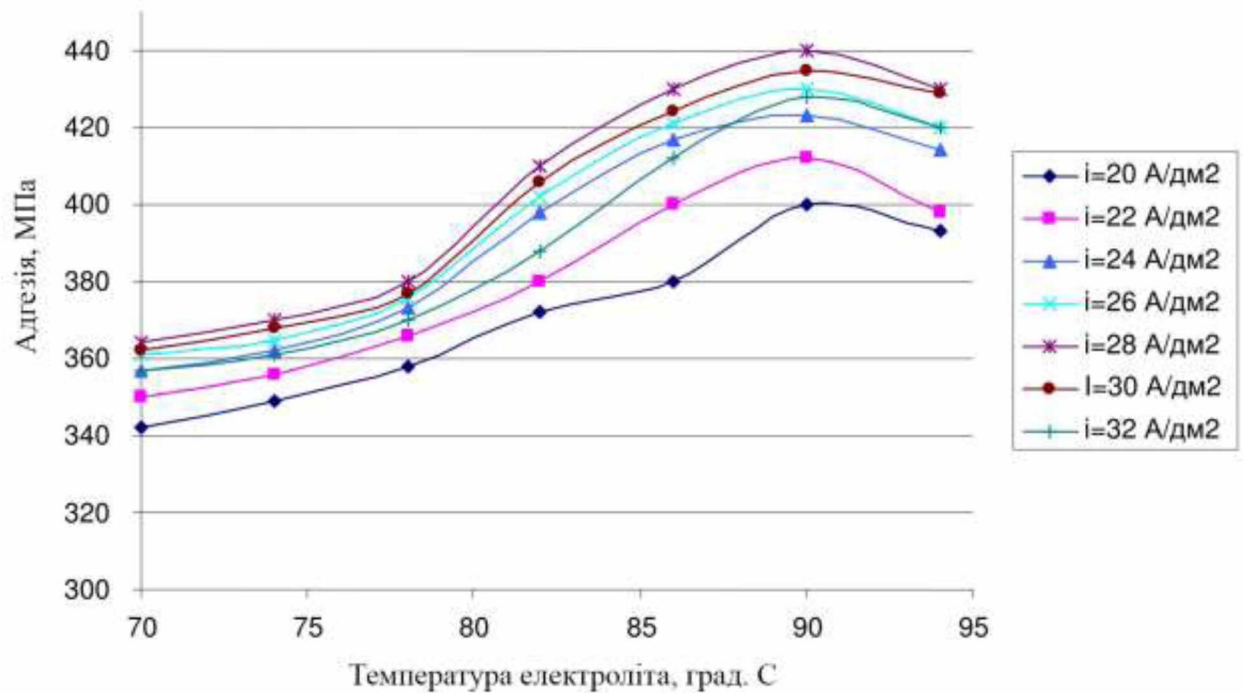


Рисунок 3.9 – Адгезія при нанесенні покриттів методом ГКО

Основним показником, що характеризує доцільність застосування тих чи інших способів ремонту, є зносостійкість відновлених ними деталей машин. Тому зрозумілий великий інтерес до вивчення зносостійкості покриттів, застосовуваних у ремонтному виробництві.

Абразивне зношування є одним з найбільш поширених видів зношування деталей машин, при якому поступова зміна розмірів деталі від тертя відбувається в результаті ріжучої або дряпаючої дії твердих частинок, що стикаються з поверхнею тертя.

Для дослідження характеристики зносостійкості композитних гальванічних покриттів на основі заліза в умовах сухого тертя, близьких до схоплювання, в лабораторії були проведені спеціальні дослідження по зношуванню зразків зі сталі 45 СВЧ діаметром 46 мм на машині МІ-1М при 440 об/хв., покритих композитним електролітичним залізом і пройшли стандартне залізнення. Тертя здійснювалося по чавуну при навантаженні 0,7 МПа і швидкості ковзання 1,06 м/сек. Знос визначався по втраті ваги зразків (з точністю 0,0002 г) через кожні 500 м шляху тертя.

При випробуванні зразків покритих стандартним електролітичним залізом, вже через 60-120 м шляху тертя відбувалося задирання тертьових поверхонь і починався катастрофічний знос як ролика, так і букси. На поверхні композитних гальванічних покриттів на основі заліза при терті утворювався (в більшості випадків) бурий або чорний наліт у вигляді плівки продуктів зносу композитних включень в покриття. Плівка окислів, будучи своєрідною змазкою, захищала поверхню тертя від задирання. При роботі зразків виготовлених зі сталі 20 цементованих і загартованих, і зразків покритих композитним гальванічним покриттям на основі заліза, знос букс в парі з цементованими зразками був інтенсивніше, ніж в парі зі зразками, покритими композитним покриттям. З цементованих зразків до кінця випробування працювала тільки половина.

Випробування другої половини зразків припинялося через виникнення задирання. При цьому на роликах спостерігалось налипання металу, про що можна було судити по збільшенню ваги роликів і по плямам налиплого металу, видимим під мікроскопом. Чавунні букси в парі з цими роликами катастрофічно зношувалися. При випробуванні зразків з композитним гальванічним покриттям на основі заліза такого ефекту не спостерігалось.

Порівняльні випробування на зношування чавунних гільз і гільз з композитним гальванічним покриттям на основі заліза, виконані на одноциліндровому чотиритактному двигуні, показали високу зносостійкість гільз, відновлених композитним залізом. Для нормальних режимів двигуна (температура охолоджуючої рідини 70-80 °, дизельне паливо з вмістом сірки до 1%) швидкість зношування відновленої гільзи була в 2-4 рази менше, ніж чавунної. Ці результати встановлюють доцільність і ефективність застосування композитних гальванічних покриттів на основі заліза для відновлення робочих поверхонь гільз циліндрів двигунів.

Сприятливими факторами, які зумовлюють високу зносостійкість композитних гальванічних покриттів на основі заліза, є висока твердість заліза, волокниста структура з внутрішньою напругою стиску, властива

композитним гальванічним покриттям на основі заліза, підвищена схильність залізних покриттів до утворення на їх поверхні окисних плівок, які грають роль мастила. Однак, слід зауважити, що зносостійкість не знаходиться у прямій залежності від твердості осаду, тому що зі збільшенням останньої покриття набувають підвищену крихкість, яка сприяє більш легкому диспергуванню дрібних частинок з поверхні тертя, в зв'язку з чим знос може збільшуватися. В ході досліджень була проведена робота з оцінки зносостійкості різних зразків. Дослідження проводилися при тиску 2,5 МПа за час при якому відбувалося 2000 обертів валика машини. Результати представлені на рис. 3.10.

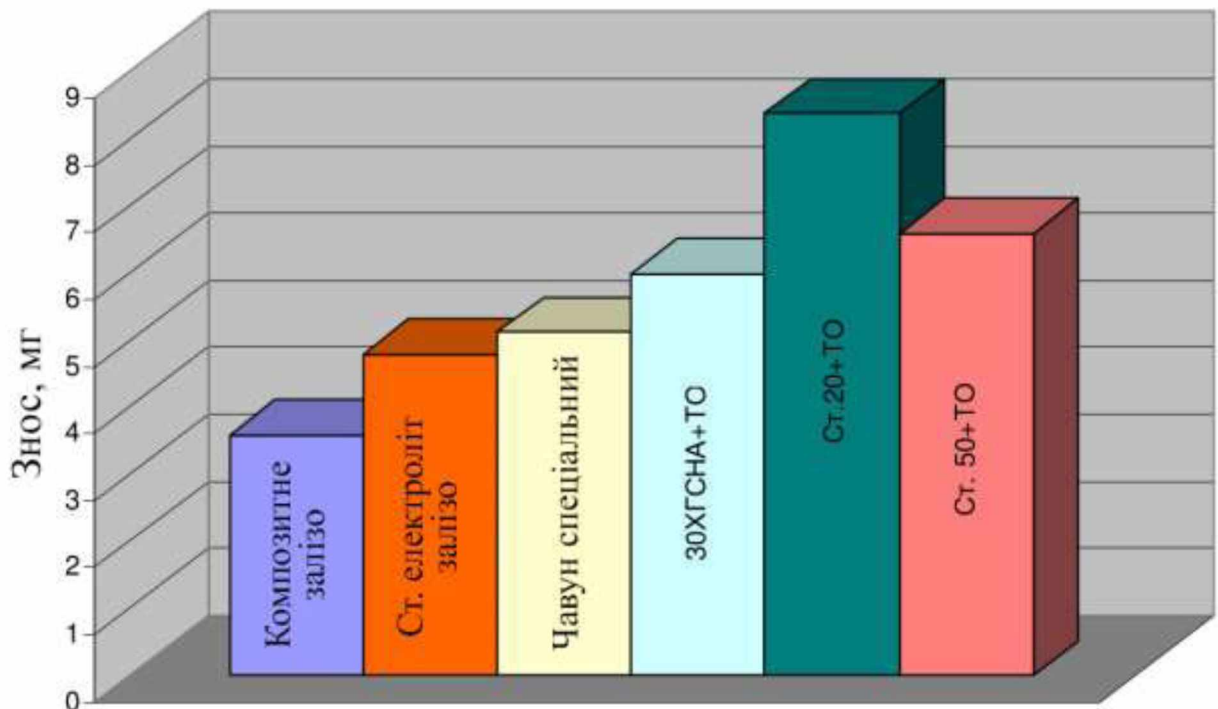


Рисунок 3.10 – Порівняльна зносостійкість різних матеріалів

Видно, що гальванічні композитні покриття по зносостійкості перевершують матеріали, що застосовуються для відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів, зокрема на 25% стандартне електролітичне залізо і на 30% серійні гільзи.

Порівняльні випробування на зносостійкість гільз з різною висотою шорсткості, відновлених композитним покриттям, дозволили виявити залежність зносу від Rz (рис.3.11), яка має оптимум при 0,5 ... 0,7 мкм.

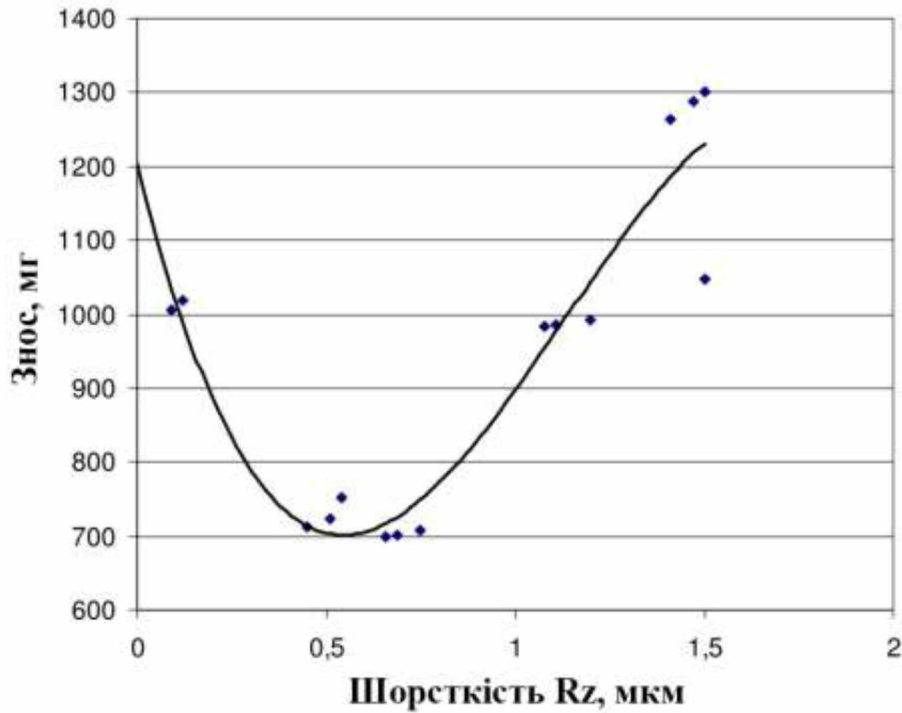


Рисунок 3.11 – Залежність зносу зразків від початкової висоти шорсткості

У літературі неодноразово згадується про можливість збільшення маслоємності поршневих кілець, застосовуючи в якості їх покриття пористі матеріали. Однак більш істотних результатів можна досягти за рахунок застосування нових способів обробки покриття, що наноситься на робочі поверхні гільз циліндрів, зокрема гальвано-контактного осадження покриття. При такому способі обробки збільшується маслоємність і опорна площа обробленої поверхні за рахунок того, що на обробленій поверхні створюється мікропрофіль, що складається з відносно глибоких западин (масляних кишень) і плоских виступів (плато), що збільшують відносну опорну довжину профілю.

При гальвано-контактному осадженні мікропрофіль поверхні формується в два етапи. На першому, попередньому, етапі відбувається осадження покриття. На цьому етапі виправляється геометрична форма отворів і відновлюються розміри деталі. На другому етапі, при обробці на зворотній полярності, коли деталь є анодом, створюються умови для анодно-механічної обробки, що призводить до створення поверхні з рисками для розміщення мастила. При цьому хонінговочні риси, перетинаючись під певним кутом, створюють поверхню у вигляді сітки. На цьому етапі брусками знімається 0,005-0,006 мм, при цьому згладжуються вершини на поверхні деталі, що з'явилися після етапу перемикання полярності.

Для дослідження маслоємності, перед обробкою способом ГКО гільзи розточуються різцями з пластинами ВКЗ при подачі 0,125 мм/об., частоті обертання 315 хв⁻¹. Числові значення показників шорсткості отримані за допомогою профілографа-профілометра Mitutoyo SJ-201P.

Таблиця 3.1 – Значення показників шорсткості поверхонь

Назва показника	Одиниці вимірюв.	Вид обробки			
		Розточування	Абразивне хонінгування	Плоско вершинне хонінгування	ГКО
<i>Ra</i>	мкм	6,96-7,68	0,18-0,32	0,30-0,57	0,12-0,16
<i>Rz</i>	мкм	38,15-67,31	0,98-2,14	2,81-5,04	0,6-0,8
<i>Sm</i>	мм ³ /см ²	0,012-0,027	0,001-0,004	0,016-0,024	0,029-0,037

Аналіз даних табл. 3.1 показує, що обробка методом ГКО дозволяє отримати плосковершинну поверхню з найбільшою маслоємністю *Sm* порядку 0,029 ... 0,037 мм³/см², що вище ніж після плоскорешнинного хонінгування (ПВХ) при практично однаковій опорній довжині профілю поверхні.

Профілограми поверхонь оброблених різними способами наведені на рис. 3.12.

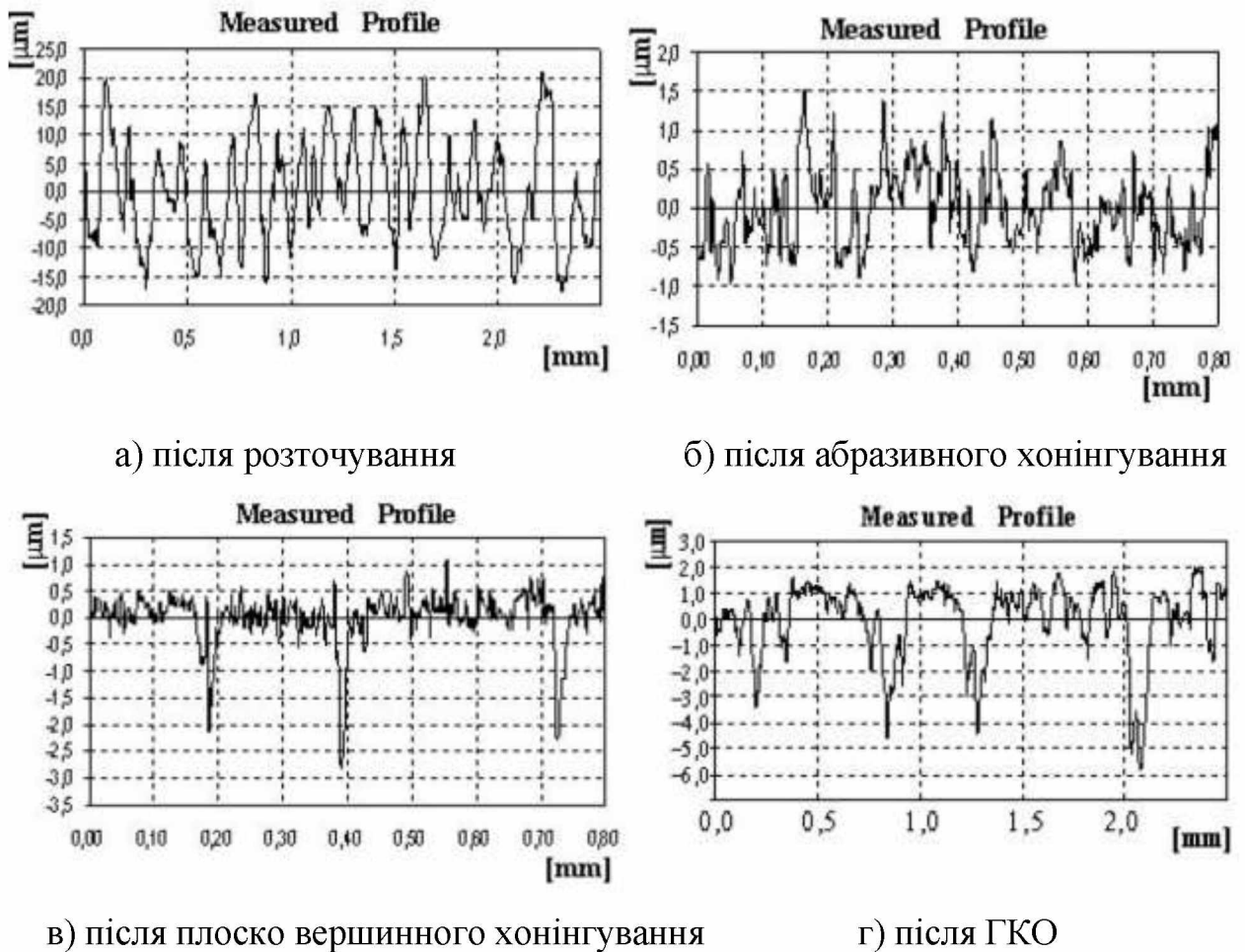


Рисунок 3.12 – Профілограми поверхні після різних видів обробки

Як видно з рис. 3.12 мікропрофіль поверхонь після ПВХ і ГКО являє собою чергування щодо плоских ділянок і западин для утримання мастильного матеріалу. Такий профіль подібний з профілем, що утворився в ході експлуатації. При цьому глибина западин у поверхонь після ГКО більше, ніж після абразивного хонінгування і плоско вершинного хонінгування і, відповідно, більша маслоспоживність, що обумовлює менший знос при експлуатації.

Висновки

1. На залишкові напруження крім щільності струму, температури електроліту і тиску інструменту впливає і товщина покриття. Метод ГКО дозволяє отримувати в покриттях товщиною від 100 до 700 мкм стискаючи залишкові напруження величиною до 137 МПа, що недосяжно іншими відомими технологічними прийомами.

2. На шорсткість композитних покриттів на основі залізної матриці в порядку убування впливають щільність струму, обертання і зворотно-поступальний рух інструмента в процесі осадження покриття. Значення шорсткості покриттів, отриманих методом ГКО відповідають $Ra = 0,12 - 0,16$ мкм без механічної обробки покриття.

3. Виявлено, що середнє значення зносу гільз після ГКО на 25 ... 30% менше зносу серійних гільз, а їх корозійна стійкість більш ніж в 3 рази вище, ніж у серійних аналогів.

4. Виявлено, що покриття, отримані за методом ГКО, мають більшу маслємність порядку $0,029 \dots 0,037 \text{ мм}^3/\text{см}^2$ завдяки спеціальному мікропрофілю відновлюваної поверхні, що обумовлює їх велику зносостійкість.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

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.

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 плив 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.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

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 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 [31].

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

4.2. Охорона праці

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні

гілз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Висновки щодо підвищення стану охорони

У розділі охорони праці дипломного проекту представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Проектований процес відновлення гільзи циліндра двигуна СМД-60 розроблений для ремонтного підприємства.

У табл. 4.1 представлені вихідні дані по відновленню гільзи. Кількість і вартість обладнання необхідного для виконання програми ремонту деталей розраховується окремо по кожній операції, виходячи з кількості одиниць обладнання.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Назва операції	$T_{шт}$, хв.	Габарити обладнання	Потужність, кВт
Миття в ацетоні	0,5	1124x945x1300	1,5
Миття	2,15	1124x945x1300	
Захисна	3,35	1124x945x1300	4,8
Травлення	1,24	1100x1000x1000	
Анодна обробка	8,45	1800x1160x2300	3,2
ГКО	11,09	1800x1160x2300	3,2

Вартість основних фондів ділянки (цеху) складається з вартості: будівель і споруд; технологічного обладнання; дорогих інструментів і пристосувань; дорогого виробничого і господарського інвентарю. Вартість будівель і споруд розраховується виходячи з обсягів і вартості 1 м³ об'єму будівлі.

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

Розрахунок вартості обладнання ремонтної дільниці зводимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок вартості обладнання ремонтної дільниці

Назва, тип, модель обладнання	Кількість одиниць (шт.)	Повна вартість одиниці обладнання			Повна вартість загального числа обладнання (тис. грн.)
		Оптова ціна (тис. грн.)	Затрати на транспорт та монтаж (тис. грн.)	Всього затрат на одиницю обладнання (тис. грн.)	
I. Основне технологічне обладнання					
АК ТБ-227	1	65	3	68	68
Мікрометр	1	0,5	–	–	–
Нутромір	1	0,6	–	–	–
Розточний	1	281	5	286	286

верстат					
ГКО	2	239	4	220	448
Всього технологічного обладнання	6				802
II. Додатково-механічне обладнання					
Токарний верстат	1	295	5,5	300,5	300,5
Всього додаткового обладнання	1				300,5
III. Підйомно-транспортне обладнання					
Візок	2	5	0,5	5,5	11
Всього підйомно-транспортне обладнання	2				11
Всього обладнання	16				2739,5

Витрати на утримання і експлуатацію устаткування ($C_{об}$) включають витрати на утримання, поточний ремонт виробничого і підйомно-транспортного обладнання, цінних інструментів, цехового транспорту та робочих місць, знос і витрати на відновлення малоцінного і швидкозношуваного інструменту та ін.

Таблиця 4.4 – Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання

Назва статей витрат	Сума тис. грн.	% до загального підсумку
1. Амортизація	18,31	4,07
2. Експлуатація обладнання	379,76	84,6
3. Поточний ремонт обладнання, транспортних засобів	21,76	4,9
4. Заводське переміщення вантажів	7,58	1,7
5. Знос малоцінних та швидкозношувальних предметів, пристосувань, витрати на їх відновлення	8,3	1,8
6. Інші витрати	13,07	2,9
Підсумок	448,78	100

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

Слід врахувати, що залишкова вартість гільзи становить 125 грн., і якщо до неї додати вартість відновлення, то отримаємо вартість відновленої деталі: $C_{від} = 125 + 146,0 = 271$ грн. Це набагато дешевше, ніж купувати нову деталь, так як економія за вартістю виробів становить:

$$E_{один} = 535 - 271,0 = 264,0 \text{ грн.} - \text{ на одиницю виробу};$$

$E_{програм} = 264,0 \cdot 2000 = 528$ тис. грн. – на 2000 шт. відновлених гільз циліндрів.

Висновки

Економічний ефект від впровадження технології гальвано-контактного нанесення композитних покриттів на основі заліза на внутрішні поверхні гільз циліндрів двигунів склав 271 грн. на одиницю продукції або 528 тис. грн. при програмі відновлення 2000 гільз в рік. Розроблена технологія рекомендується до використання при відновленні гільз циліндрів дизельних двигунів, зокрема ЯМЗ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Комбінований спосіб відновлення деталей, що полягає в спільному гальванічному осадженні заліза на зношену поверхню і пружного деформування кожного шару покриття, що наноситься з одночасним введенням в нього дрібнодисперсного карбїду титану становить науковий і практичний інтерес.

2. Запропоновано пристрій для відновлення гільз двигуна внутрішнього згоряння нанесенням гальванічного композитного покриття на основі заліза, що виключають операції попередньої і фінішної обробки, що забезпечують необхідну зносостійкість поверхневого шару, адгезію до основи, стійкість покриття до зносу при підвищенні робочої температури поверхневого шару, що створюють мікропрофіль поверхні, забезпечує раціональну маслостійкість поверхні, що в комплексі призводить до збільшення ресурсу деталі більш, ніж в 1,5 разів .

3. Експериментальними дослідженнями встановлено, що композитні покриття, отримані методом ГКО, в залежності від варіювання режимних параметрів, мають шорсткість $Ra = 0,12 - 0,16$ при товщині шару до 700 мкм, що дозволяє виключити операції попередньої і фінішної обробки, їх мікротвердість на 28% вище, а швидкість зношування до 1,5 разів нижче ніж у покриттів, отриманих традиційним гальванічним залізненням

4. Економічний ефект від впровадження технології гальвано-контактного нанесення композитних покриттів на основі заліза на внутрішні поверхні гільз циліндрів двигунів склав 271 грн. на одиницю продукції або 528 тис. грн. при програмі відновлення 2000 гільз в рік. Розроблена технологія рекомендується до використання при відновленні гільз циліндрів дизельних двигунів, зокрема ЯМЗ.