



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності відновлення автомобільних деталей типу «вал» у
ФОП «Ковальов Олександр Стефанович» с. Соколівське Кропивницького
району Кіровоградської області»

Виконав:

магістрант групи АТ-23МЗ Олександр Зяблов
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Іван ВАСИЛЕНКО
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

_____ Зяблову Олександр Миколайовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності відновлення автомобільних деталей типу «вал» у ФОП «Ковальов Олександр Стефанович» с. Соколівське Кропивницького району Кіровоградської області»

керівник роботи Василенко Іван Федорович, канд. техн. наук. доц., _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 20__ року
№ _____

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

матеріали переддипломної практики, літературні джерела наукової інформації, патенти, нормативні акти з технічного обслуговування автомобілів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

4.1 Розділ 1 Обґрунтування напряду наукових досліджень

4.2 Розділ 2 Аналіз об'єкта досліджень

4.3 Розділ 3 Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

4.4 Розділ 4 Обґрунтування ефективності відновлення деталей контактним наварюванням композиційних матеріалів

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об'єкт, предмет та задачі досліджень; 2. Схеми контактного наварювання металевих порошків на деталі; 3. Схема контактної наварювання порошку з металевою сіткою; 4. Розрахунок кута подачі металевих порошків; 5. Установка для КН порошків; 6. Дослідження плинності порошків; 7. Технологічні властивості порошків і покриттів; 8. Мікроструктура наварених покриттів; 9. Дослідження зносостійкості покриттів; 10. Зносостійкість покриттів; 11. Технологічний процес відновлення та показники економічної ефективності; 12. Висновки.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	25.10.2024	
2	Розділ 2	15.11.2024	
3	Розділ 3	5.12.2024	
4	Розділ 4	8.12.2024	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	15.12.2024	

Магістрант _____ Зяблов О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Іван ВАСИЛЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню ефективності відновлення автомобільних деталей типу «вал» контактним наварюванням композиційних покриттів.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу відновлення зношених поверхонь автомобільних деталей типу «вал» контактним наварюванням композиційних матеріалів на основі металевих порошків та сітки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес відновлення зношених поверхонь деталей контактним наварюванням композиційних матеріалів на основі металевих порошків та сітки.

Предметом дослідження є закономірності формування металопокриття контактним наварюванням композиційних матеріалів.

Для реалізації поставленої мети в роботі визначені такі завдання:

1. Дослідити теоретично й експериментально спосіб отримання композиційного покриття електроконтактним приварюванням металевих порошків і сітки.

2. Вивчити процес ущільнення порошку в комірках сітки під час контактного приварювання.

3. Дослідити фізико-механічні властивості композиційного металопокриття та провести випробування зносостійкості деталей, відновлених розробленим способом.

4. Розробити технологію відновлення зношених деталей і оцінити ефективність впровадження результатів роботи у виробництво.

З аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що відновлення зношених деталей методом контактного наварювання порошкових матеріалів є перспективним напрямком у створенні зносостійких покриттів. Механічне утримання порошків у зоні приварювання є ефективним способом підвищення технологічності процесу та отримання якісних покриттів. Використання

металевої сітки для цього є новим та перспективним способом підвищення технологічності процесу, якості та експлуатаційних властивостей покриттів.

Розроблена модель контактного наварювання металевих порошків і сітки дає змогу визначити обґрунтовані параметри процесу приварювання, що включають кут подачі порошку, діаметр дроту сітки, товщину покриття, діаметр роликового електрода.

З'ясовано, що використання металевої сітки дозволяє підвищити технологічність способу контактного наварювання металевих порошків. При цьому зменшуються втрати порошкового матеріалу від обсипання, створюється можливість регулювання товщини покриття, що приварюється

Вибрано оптимальні режими приварювання, що забезпечують якісне формування покриття та достатню міцність зчеплення. Внаслідок різної інтенсивності зношування матеріалу порошку та сітки покриття набуває регулярного рельєфу, що сприяє утримувannya мастильного матеріалу та забезпечує надійну експлуатацію вузлів тертя при граничному навантаженні. Лабораторними випробуваннями встановлено, що одержувані композиційні покриття мають високі зносостійкі властивості, що перевищують зносостійкість сталі 45 в 2,5 рази, а чавуну в 1,9 рази.

Визначено економічний ефект, який досягається у результаті застосування розробленої технології відновлення розподільних валів двигуна ЗМЗ-402.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 64 сторінки тексту, 23 рисунки, 2 таблиці.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Коротка історія та структура підприємства ФОП «Ковальов Олександр Степанович»	8
1.2 Умови роботи вузлів тертя та шляхи підвищення їх ресурсу	9
1.3 Класифікація композиційних покриттів і методів їх отримання	12
1.4 Присадні матеріали для отримання композиційних покриттів	14
1.5 Контактного наварювання порошкових матеріалів	17
1.6 Цілі та завдання досліджень	24
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Обґрунтування вибору присадного матеріалу і схеми технологічного процесу приварювання	25
2.2 Розрахунок кута подачі металевого порошку	30
2.3 Висновки з теоретичних досліджень	33
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА	34
3.1 Обладнання для контактного наварювання	34
3.2 Дослідження особливостей КН порошків у комірках сітки	36
3.2.1 Вплив технологічних властивостей металевих порошків і розмірів сітки на формування покриття	36
3.2.2 Вплив кута подачі на втрати порошку від осипання	39
3.2.3 Вплив параметрів режиму контактного наварювання на формування покриття, якість з'єднання з основою та властивості	40
3.3 Дослідження якості та властивостей привареного покриття	43
3.3.1 Металографічний аналіз та оцінка пористості покритті	43
3.3.2 Твердість і мікротвердість	47
3.3.3 Результати випробування зразків на зностійкість	49
3.4 Висновки за наслідками експериментальних досліджень	55
РОЗДІЛ 4. ОБґРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНТАКТНИМ НАВАРЮВАННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	57
4.1 Технологічний процес та аналіз ефективності відновлення опорних шийок розподільного вала двигуна ЗМЗ-402 контактним наварюванням композиційних матеріалів	57
4.2 Висновки	59
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62

ВСТУП

Переважна більшість сучасних машин і механізмів мають рухомі зчленування, що забезпечують можливість виконання ними робочих функцій, пов'язаних з пересуванням, підйомом вантажів, обробкою матеріалів, ковзними ущільненнями тощо. Від матеріалів, з яких виготовляють ці вузли тертя, потрібні, як правило, низькі значення втрат енергії на тертя і висока зносостійкість. Для задоволення зазначених вимог створено різного роду пари тертя, в яких, частіше за все в парі зі сталеву деталлю, використовують антифрикційні литі матеріали на основі кольорових металів на кшталт бронз і бабітів, композиційних антифрикційних матеріалів, матеріалів на основі полімерів і деяких інших. Однак у зв'язку з безперервним підвищенням параметрів роботи машин і механізмів у більшості випадків матеріали, що працюють у вузлах тертя, виходять з ладу значно раніше, ніж інші частини машин.

Нині в країні відбувається розширення парку автомобілів зарубіжного виробництва. Незважаючи на їхню високу надійність, відмови, пов'язані зі зносом робочих поверхонь деталей, все ж таки відбуваються. Слід зазначити, що технічний сервіс і вартість запасних частин на імпорту техніку є досить високими. Усе це говорить про значні витрати на ремонт і доцільність відновлення деталей. Насправді, відновлення деталей автомобільного транспорту здійснюється вкрай рідко. Однією з причин цього є низька якість відновлених деталей. Тому для збільшення конкурентної спроможності відновлюваних деталей необхідно впроваджувати найбільш рентабельні способи відновлення деталей машин і використовувати недефіцитні присадні матеріали, забезпечуючи при цьому ресурс відновленої деталі на рівні ресурсу нової деталі.

Останнім часом особливого значення набувають ресурсозберігаючі технології, що реалізуються без істотного збільшення матеріальних витрат. Це повною мірою стосується і технологій відновлення зношених деталей. Одним із

способів, що реалізують ресурсозберігаючі технології, є спосіб контактного наварювання (КН). Позитивними властивостями КН є: відсутність нагріву деталі, можливість приварювання сталеві стрічки, дроту і металевих порошків із заданими властивостями, зменшення витрати металу (порівняно з наплавленням) у 2...4 рази, відсутність вигорання легуючих елементів. Разом з тим, шляхи розширення технологічних можливостей цього способу далеко не вичерпані.

У напрямку розширення технологічних можливостей способу КН викликає інтерес застосування і розробка нових перспективних способів нанесення покриттів із суцільних, порошкових і комбінованих присадних матеріалів. Їхнє приварювання на поверхні деталей без розплавлення основного і присадного матеріалів дає змогу отримувати шари із заданими фізико-механічними властивостями, забезпечити підвищення зносостійкості та високі техніко-економічні показники. Технологічні процеси КН не вимагають дефіцитних і дорогих матеріалів, легко піддаються комплексній механізації та автоматизації під час відновлення і зміцнення найрізноманітніших деталей.

Особливо ефективним є КН композиційних матеріалів (КМ) на основі металевих порошків з різними наповнювачами. У цьому випадку можливо частково або повністю зберігати властивості матеріалів і отримувати покриття, як з рівноважною, так і нерівноважною структурою. Останні, як відомо, мають високу зносостійкість в умовах абразивного та інших видів зношування.

Існуючі способи КН металевих порошків у вигляді спечених або порошковополімерних стрічок, з використанням клеючих компонентів ускладнюють і здорожують технологічний процес відновлення. Способи, засновані на гравітації, є найпростішими і не потребують складних додаткових пристроїв і пристосувань. Основними недоліками, що перешкоджають поширенню вищеназваних способів, є відсутність можливості регулювання товщини одержуваного покриття і підвищена витрата металевих порошків. У зв'язку з цим досить актуальним видається розробка технології КН композиційних матеріалів на основі металевих порошків, що дає змогу

розширити технологічні можливості способу і підвищити експлуатаційні властивості відновлених деталей.

Розв'язання цих завдань дасть змогу підвищити ефективність технології шляхом зниження трудомісткості та витрат на механічне оброблення відновлених деталей і економії присадних матеріалів.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу відновлення зношених поверхонь автомобільних деталей типу «вал» контактним наварюванням композиційних матеріалів на основі металевих порошків та сітки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес відновлення зношених поверхонь деталей контактним наварюванням композиційних матеріалів на основі металевих порошків та сітки.

Предметом дослідження є закономірності формування металопокриття контактним наварюванням композиційних матеріалів.

Наукова новизна:

- запропоновано новий технологічний процес нанесення композиційного покриття на основі металевих порошку та сітки електроконтактним способом на зовнішні поверхні циліндричних деталей;

- розроблено й експериментально підтверджено модель ущільнення порошкового матеріалу в комірках сітки під час їхнього спільного наварювання;

- на основі дослідження якісних показників наварених покриттів (структури, густини, міцності зчеплення, твердості, зносостійкості) виявлено оптимальні параметри технологічного процесу.

РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Коротка історія та структура підприємства ФОП «Ковальов Олександр Степанович»

Підприємство ФОП «Ковальов Олександр Степанович» знаходиться за адресою: Україна, Кіровоградський р-н, с. Соколівське, пров. Гаражний, 17.

Метою діяльності підприємства є одержання прибутку від здійснення виробничої, комерційної, посередницької діяльності, розвитку інфраструктури автосервісу, надання послуг, науково-технічного і матеріально-технічного забезпечення виробництва в сфері технічного обслуговування транспортних засобів, торгівлі та здійснення іншої діяльності.

Предметом діяльності ФОП «Ковальов Олександр Степанович» є:

- надання послуг по технічному обслуговуванню, ремонту і діагностиці транспортних засобів;
- проведення інструментального контролю технічного стану транспортних засобів;
- торгівельна діяльність щодо реалізації обладнання автомобілів, запасних частин, технічних рідин та автообладунків.
- монтаж, ремонт і профілактичне обслуговування засобів охоронної сигналізації тощо.

Основним структурним підрозділом підприємства є станція технічного обслуговування, розрахована на 5 постів, призначена для виконання комплексних робіт з ТО і ремонту 1500 автомобілів за рік. На даному етапі функціонування підприємства виробничі потужності використовуються лише на 75%. Це пов'язано з економічним спадом в регіоні і зростаючою конкуренцією з боку сервісних підприємств, що спеціалізуються на виконанні комплексних видів ТО і ремонту автомобілів.

1.2 Умови роботи вузлів тертя та шляхи підвищення їх ресурсу

Основною причиною втрати працездатності більшості деталей є зношування. Зношування деталей є закономірним процесом, що призводить до зміни розмірів, форми та стану робочих поверхонь. Швидкість зношування опор залежить від багатьох чинників: чинного навантаження (контактного тиску), температури, виду і режиму руху, частоти обертання, агресивного впливу навколишнього середовища, фізико-хімічної модифікації поверхонь у процесі тертя.

Робота тертя у вузлах ковзання зосереджується в проміжному змащувальному шарі, який визначає зношування, коефіцієнт тертя, а отже, і термін служби з'єднання. За ДСТУ 2823-94 за наявністю мастила розрізняють: тертя без мастила, рідинне тертя і граничне тертя [5]. Найбільш сприятливими для роботи підшипникових матеріалів є умови рідинного тертя. За рідинного тертя навантаження повністю передається на шар рідкого мастила, товщина якого перевищує висоту нерівностей на поверхні підшипникового матеріалу. Тертя без мастильного матеріалу характеризується безпосередньою взаємодією між твердими тілами за відсутності між ними третьої фази, наприклад, оксидної плівки, здатної виконувати змащувальну функцію. У разі тертя двох тіл за наявності на поверхнях тертя шару рідини, що має властивості, відмінні від об'ємних, відбувається граничне тертя.

У реальних умовах може мати місце перехід від одного режиму роботи до іншого. Це супроводжується різкою зміною величини коефіцієнта тертя і зносу. Такі явища можуть виникнути у вузлах тертя в тих випадках, коли відбувається підвищення навантаження або швидкості, що спричиняє підвищення температури на поверхні тертя, зниження в'язкості мастила, а потім його коксування. Причиною можуть бути аварійні ситуації, що супроводжуються припиненням подачі мастила або перевантаженнями, що виникають.

Згідно з ДСТУ 2823-94 зношування деталей підрозділяють на три основні види: механічне, зношування під час заїдання і корозійно-механічне. Основним видом зношування підшипників ковзання двигунів внутрішнього згоряння є абразивне [17, 18, 20]. Його характер може значно змінюватися залежно від фізико-механічних властивостей матеріалів і абразиву, тиску в зоні контакту, швидкості деформування поверхневого шару, температури нагріву матеріалу й агресивності середовища. Абразивні частинки, що зношують, можуть мати мінеральне (найчастіше кварцовий пісок) або металеве походження (структурні та складові спряжених деталей, продукти зношування, окалина). Вони можуть мати різну форму і бути по-різному орієнтованими щодо поверхні, що зношується. Не всі частинки ріжуть і знімають стружку, частина з них пластично деформує матеріал. Схоплювання металів являє собою утворення металевих зв'язків і проявляється під час спільного пластичного деформування і під час тертя, яке, по суті, також є процесом спільного деформування поверхневих нерівностей і шарів металу, які перебувають у контакті. Здатність металів під час граничного тертя чинити опір схоплюванню дуже важлива для деталей машин, тому що схоплювання є основною причиною утворення задирок і заїдання і спричиняє один із найбільш інтенсивних і руйнівних видів зношування [19].

До традиційних методів збільшення ресурсу вузлів тертя належать створення нових матеріалів із підвищеними властивостями, поліпшення конструкції деталей, якості та технології їхньої обробки, підвищення інтенсивності їхнього охолодження. З точки зору найбільшої зносостійкості для різних видів зношування існують свої оптимальні матеріали з оптимальною структурою, тому одним з основних завдань технології відновлення і зміцнення деталей машин є створення поверхонь з необхідними триботехнічними властивостями.

Вимоги до антифрикційних матеріалів визначаються умовами їхньої роботи і варіюються в широких межах. До них належать: низькі значення коефіцієнта тертя і висока зносостійкість; оптимальна об'ємна і поверхнева

міцність, що поєднує високу міцність поверхневого шару з легким припрацьовуванням пари тертя; достатня в'язкість для унеможливлення крихкого руйнування; висока втомна міцність; здатність утворювати шар вторинної структури, яка оберігає поверхні матеріалів, що труться, від захоплювання; достатня теплопровідність та оптимальні значення коефіцієнта теплового розширення; наявність у матеріалі запасу твердого чи рідкого мастила, економічність і технологічність у виготовленні.

Сформульовано низку фундаментальних трибологічних принципів, які є теоретичним підґрунтям створення нових матеріалів і покриттів для пар тертя [17, 19]. Для зносостійких матеріалів і покриттів розроблено такі принципи їх конструювання:

«1. Структура матеріалу має бути гетерогенною і складатися з твердих зерен, рівномірно розподілених у пружнопластичній матриці. У цьому разі прикладене навантаження діє переважно на включення твердої фази, а в матриці відбувається релаксація напружень.

2. Структура матеріалу не повинна істотно змінюватися в процесі тертя або повинна перебудовуватися в структуру, вигідну з точки зору тертя та зношування

3. Поверхневий шар матеріалів, що труться, повинен мати меншу міцність, ніж шари, що лежать нижче (правило позитивного градієнта).

4. Поверхневий шар не повинен наклепуватися в процесі тертя.

5. Під впливом навколишнього середовища в матеріалі не повинні відбуватися структурні зміни, погіршення характеристик міцності та пластичності.

6. До складу матеріалу рекомендується вводити речовини, здатні працювати як тверді мастила.

7. Між структурними складовими матеріалу має існувати адгезійний зв'язок.

8. Протизадирні добавки не повинні знижувати міцність матеріалу.

9. Коефіцієнт тертя твердих включень між собою і по матеріалу матриці

має бути мінімальним» [17, 19].

Оскільки зазначені принципи стосуються тільки поверхневого шару, то під час виготовлення нової зносостійкої деталі доцільно використовувати покриття, що здебільшого економічно не вигідно. Проте під час відновлення зношених деталей машин можна реалізувати принципи створення зносостійкого покриття на деталях з економічним ефектом, тому що в цьому разі одночасно розв'язуються два завдання: підвищення зносостійкості та використання вторинної сировини. Нині існує велика кількість способів відновлення зношених деталей із застосуванням різних присадних матеріалів. Сформульованим вище комплексом вимог до антифрикційних матеріалів різного призначення відповідають композиційні матеріали (покриття). Тому одним із найважливіших напрямів у галузі підвищення довговічності відновлених деталей є розробка нових присадних композиційних матеріалів і технології їх нанесення на зношені поверхні. Наявність різноманітних присадних матеріалів для відновлення і зміцнення поверхонь тертя створює передумови підвищення їх зносостійкості шляхом спрямованого формування необхідної структури покриття.

1.3 Класифікація композиційних покриттів і методів їх отримання

Створення композиційного покриття (КП) базується на основі поєднання в об'ємі покриття матеріалів різних класів, що володіють різними вихідними властивостями [19]. Природа вихідних компонентів, їхній фазовий стан, співвідношення, стан межі розділу і створення певної мікро- і макроструктури визначають властивості покриття. Своєю чергою, поєднання властивостей композиційного покриття, їхній комплекс зумовлюють застосування КП для тих чи інших цілей.

Класифікацію КП за способом їх формування наведено на рис. 1.2).

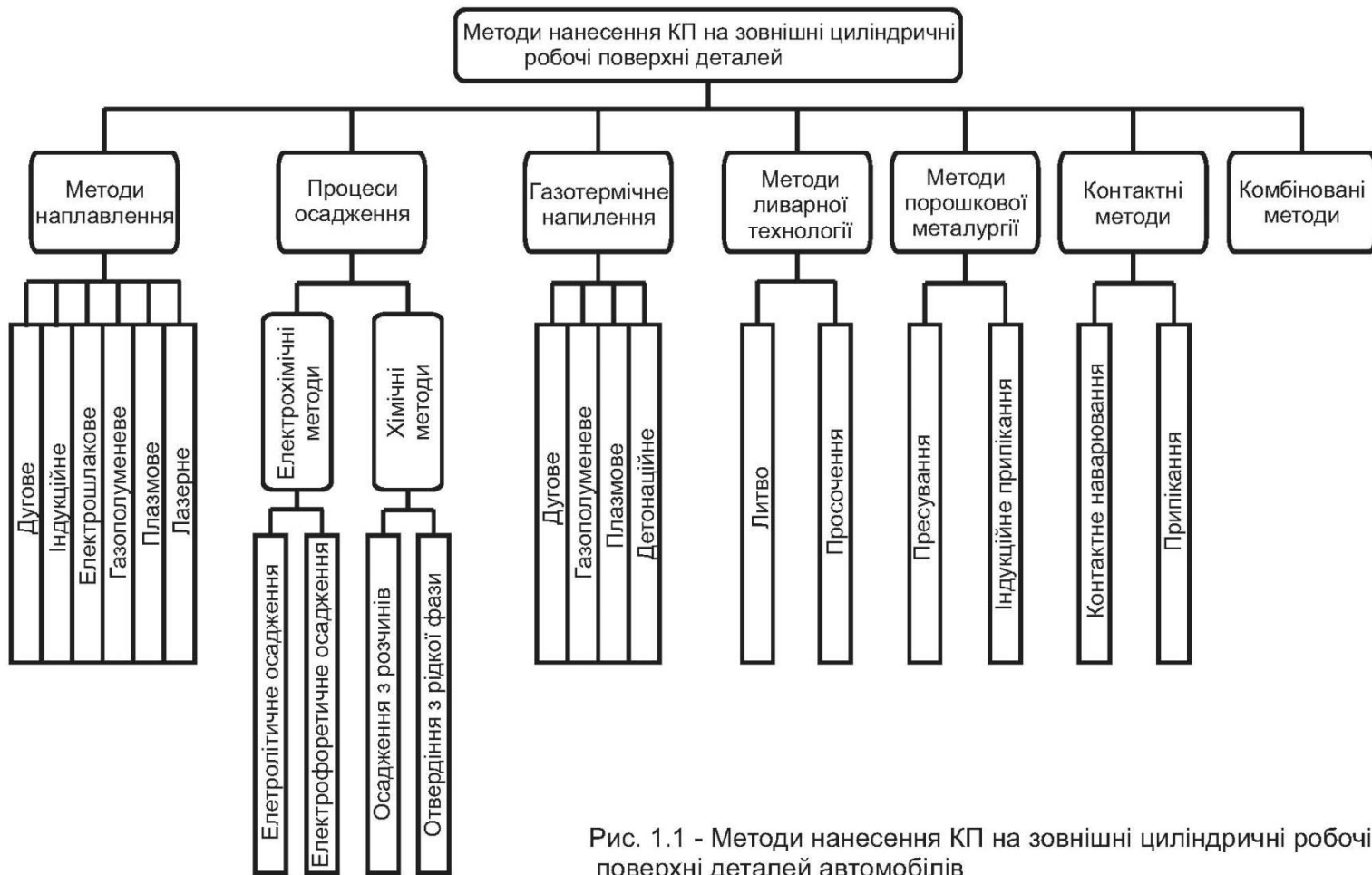


Рис. 1.1 - Методи нанесення КП на зовнішні циліндричні робочі поверхні деталей автомобілів

Залежно від матриці всі КП поділяються на: КП з металевою матрицею – металеві композиційні покриття (МКП); з полімерною – полімерні композиційні покриття (ПКП) і з керамічною – керамічні композиційні покриття (ККП). Матриця надає покриттю монолітності, пов'язує його з основою деталі, забезпечує передачу і перерозподіл навантаження в об'ємі покриття. Тип матриці безпосередньо визначає технологію отримання КП, його термічну і корозійну стійкість та інші найважливіші характеристики покриття і деталі загалом. За призначенням і застосуванням КП поділяють на зносостійкі, антифрикційні, корозійностійкі, спеціальні тощо. Ознака віднесення покриттів до тієї чи іншої групи за призначенням є умовною, тому що покриття, як правило, багатофункціональні, тобто одне й те саме КП може мати комплекс властивостей, які зумовлюють можливість його різного застосування.

Вибір методу отримання композиційного покриття визначається такими основними факторами: конструкцією деталі; видом вихідних матеріалів основи деталі, матриці та наповнювача КП; можливістю введення наповнювача в матриці, поєднання процесів відновлення деталі та отримання покриття; економічною доцільністю.

Утворення КП на поверхні деталей машин відбувається за такими основними варіантами: послідовне нанесення окремих компонентів КП з різних класів матеріалів; паралельне нанесення окремих компонентів; використання заздалегідь сформованих матеріалів у вигляді порошків, паст, суспензій, розчинів, електродів, присадних прутків, дротів, стрічок, гнучких "шнурів" тощо.

1.4 Присадні матеріали для отримання композиційних покриттів

Одна з основних тенденцій у створенні спечених антифрикційних матеріалів – гетерогенізація структури, що досягається введенням у матеріал різних присадок, які регулюють його антифрикційні властивості. Структура таких шарів складається з частинок твердих тугоплавких сполук, пов'язаних

ділянками більш м'якої цементувальної фази. Зносостійкість таких матеріалів визначається зносостійкістю м'якої основи, міцністю зв'язку твердих включень з основою, їхніми розмірами, формою, кількістю і характером розподілу включень в основі. У спечених нерівноважних твердих сплавів зносостійкість завжди вища, ніж у сплавах такого ж хімічного складу, отриманих наплавленням. Включення твердої фази в пластичну матрицю також дає змогу домогтися оптимального розподілу напружень, коли навантаження передається на тверді складові структури, що мають невисокий коефіцієнт тертя. Пластичність сполучної матриці дає змогу робочій поверхні деформуватися і набувати обрисів, найближчих до робочого профілю контртіла, що зменшує ймовірність появи місцевих піків напружень. Дедалі більшого значення надають регулюванню антифрикційних властивостей матеріалів завдяки введенню різних твердих змащувальних речовин: графіту, сірки, міді, олова та ін.; номенклатура речовин, що відіграють роль твердих мастил, безперервно збільшується.

Кінцева структура матеріалу має винятково великий вплив на його фізико-механічні та інші властивості. Однак з огляду на складність залежностей між фізико-механічними, антифрикційними та іншими властивостями матеріалів безпосередній вплив кожного з видів структурних складових на їхні кінцеві властивості не завжди вдається чітко виявити. Як загальну закономірність можна відзначити, що найкраще поєднання фізико-механічних і антифрикційних властивостей, як правило, мають гетерогенні структури.

Застосування порошкових матеріалів дозволяє отримати композиційне покриття із заданою структурою, однаковою або навіть підвищеною порівняно з матеріалом деталі, що наварюється, зносостійкістю. Це стає можливим регулюванням хімічного і фазового складу металопокриття шляхом змішування у вихідному стані порошків різного складу, що особливо важливо при відновленні деталей широкої номенклатури. Крім цього, використання присадних порошкових матеріалів дає змогу регулювати щільність металопокриття, що створює нові можливості змащування поверхонь ковзання

і збільшує термін служби відновлених деталей.

На експлуатаційні властивості порошкових покриттів значно впливає розмір частинок вихідного матеріалу. Абсолютна чистота поверхні спеченого матеріалу також визначається зернистістю вихідного порошку, і вона тим вища, чим тонший вихідний порошок [17]. Тому для забезпечення більш високих властивостей матеріалу, особливо в умовах обмеженого змащення, при збільшених навантаженнях рекомендують використовувати тонкі порошки. Для зносостійкого шару товщиною 0,4...0,5 мм, що працює в умовах абразивного зношування, найкращі результати зносостійкості показують порошкові сплави з розміром частинок 0,1...0,25 мм [1]. Встановлено, що необхідними технологічними властивостями, зокрема електропровідністю, також володіють металеві порошки з розміром частинок 0,1...0,25 мм або суміші різних фракцій, де допускаються частинки і меншого розміру.

Збільшення пористості та крупності частинок порошку погіршує припрацьовуваність і збільшує час припрацювання. Низька міцність контактів призводить до руйнування металу на поверхні тертя, викришування частинок, що збільшує знос і час припрацювання. У період пуску, зупинки або припинення подачі мастила роль структури проявляється особливо сильно. Найчіткіше вплив пористості на фізико-механічні властивості простежується на матеріалах із чистих порошоків [17]. Відомо, що характеристики міцності в три і більше разів зменшуються при збільшенні пористості від 5 до 30% [17]).

Існує тенденція створення матеріалів з регульованою пористістю, що строго відповідає оптимальним умовам роботи матеріалу. Наприклад, для легких і середніх умов роботи можна ефективно використовувати принцип самозмашуваності завдяки мастилу, що вводиться в пори матеріалу. У цьому разі об'єм пор регулюється в межах 15...30% об'єму матеріалу. Для важких умов роботи, коли мастило видавлюється через пори з робочої зони, перспективним є застосування матеріалів з пористістю не більше 10% [19] Тоді основна кількість пір не з'єднується одна з одною і мастило, що потрапляє в пори через робочу поверхню, залишається в порах, оберігаючи матеріал від захоплення за

місцевих перевантажень. Зі збільшенням пористості підвищується кількість мастила, що подається в зону тертя, що сприяє зростанню тривалості роботи сполучення. Однак зменшення міцності матеріалу обмежує допустиму верхню межу пористості в підшипникових матеріалах. Тому для конкретних умов роботи поверхонь, що труться, потрібно визначати оптимальну межу пористості та мінімальну величину частинок порошку.

1.5 Контактного наварювання порошкових матеріалів

Серед наявних способів відновлення і зміцнення швидкозношуваних деталей велике місце посідає зварювання. За допомогою зварювання і наплавлення ремонтують багато зношених деталей і отримують на їхніх робочих поверхнях покриття, що добре протистоять абразивному, корозійному та іншим видам зношування.

Близьким за технологічними параметрами до методів порошкової металургії є КН, що є ефективним способом нанесення покриттів із різноманітних присадних матеріалів: однокомпонентних порошків, порошкової суміші, паст, спеченої порошкової стрічки або кілець, сталевих стрічки і дроту, комбінованих матеріалів. Вибір того чи іншого матеріалу для КН визначається конкретними умовами роботи і конструктивними особливостями відновлюваної деталі.

У цьому напрямку викликає інтерес застосування і розробка нових перспективних способів КН порошкових і комбінованих присадних матеріалів. Їхнє наварювання на поверхні деталей без розплавлення основного і присадного матеріалів дає змогу отримувати шари із заданими фізико-механічними властивостями, забезпечити підвищення зносостійкості та високі техніко-економічні показники.

Якість покриття, що формується КН, залежить від технологічних режимів процесу, а також від вихідного стану і методу подачі присадного матеріалу. У зв'язку з цим проводилися великі дослідження з розроблення та використання

різних порошкових присадних матеріалів для електроконтактного приварювання і методів їх нанесення на поверхні деталей, результати яких відображені в роботах [1, 2, 19].

Нині відомі різні варіанти нанесення порошкових присадних матеріалів КН на корпусні, дискові, типу "вал" і плоскі поверхні деталей. Оскільки більшу частину відновлюваних поверхонь становлять циліндричні деталі, розглянемо технологічні схеми нанесення покриттів КН на поверхні тіл обертання.

Використання заздалегідь спечених композиційних матеріалів у вигляді спеченої порошкової стрічки є найбільш технологічним методом. Однак викликає труднощі застосування спечених порошкових стрічок, у яких містяться залізні порошки типу ПЖ, для відновлення деталей тіл обертання, через крихкість стрічки. Водночас недоліком прокатаного і спеченого порошкового матеріалу є зменшення активності порошкової системи в результаті зниження її надлишкової енергії в період контактного наварювання, оскільки первинне спікання вже відбулося в процесі виготовлення стрічки.

Відомий метод, за якого на металеву стрічку наносять тонку плівку клейкої речовини, а потім шар із композиційних матеріалів. Після цього стрічку приварюють, розташовуючи порошковий шар між стрічкою і поверхнею деталі. Перевагою способу є можливість регулювання товщини шару, що приварюється, використання частинок різної форми і розмірів. До недоліків належать висока трудомісткість формування шару на поверхні деталі, негативний вплив клейової композиції на якість покриття.

КН порошкових матеріалів в оболонках (порошковий дріт, поліетиленові мішечки та ін.) підвищує продуктивність, знижує трудомісткість, дає змогу автоматизувати процес виготовлення і приварювання зазначених матеріалів. Недоліком способу є можлива сепарація частинок композиційного матеріалу в оболонках у процесі зберігання і транспортування, нерівномірність структури покриття в зоні стиків витків і торкання сусідніх оболонок. Для виготовлення таких матеріалів потрібне спеціальне обладнання [19].

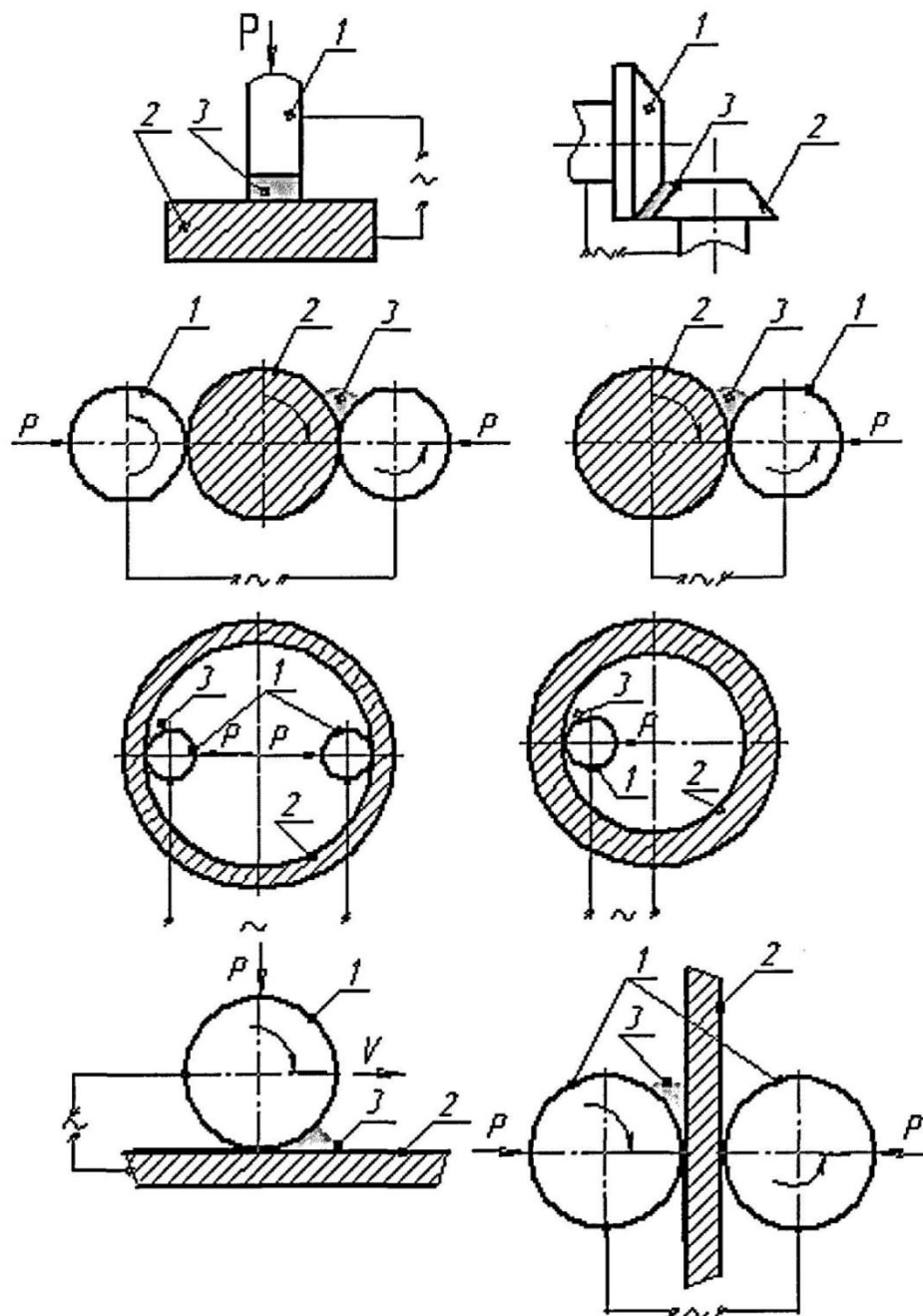
Низка робіт [4, 17] присвячена вивченню КН порошкових матеріалів,

сформованих у порошково-полімерну стрічку (ППС). У стрічці частинки металевого порошку можуть утримуватись тонкими оболонками, або частинками полімерного матеріалу. Використання таких стрічок дає змогу регулювати в певних межах товщину покриття з мінімальним припуском на механічну обробку; застосовувати охолоджувальну рідину в процесі приварювання; забезпечити високу продуктивність, можливість варіювання технологічних режимів КН, забезпечуючи тим самим різні структури покриття. Однак дана технологія характеризується низкою наступних труднощів і недоліків: через невисоку міцність вузької смужки ППС нерідкі випадки її обриву під час приварювання; через відсутність чіткої межі приварювання неякісно формується стикова зона за гвинтовими лініями; внаслідок використання широких роликів-електродів збільшується тепловий вплив на відновлювану деталь, тобто знижується основна перевага КН. При використанні ППС як присадного матеріалу під час КН потрібно застосовувати широкі ролики-електроди (ширина 10 мм) і нарізати стрічку на вузькі смуги (завширшки 7...8 мм), а така технологія схожа на наварювання дроту по гвинтовій лінії.

Найпростішим з технологічного погляду є метод вільної подачі порошку (рис. 1.2). Покриття, що отримується даним методом, має макроструктуру максимально наближену до вихідного матеріалу через відсутність додаткових включень. Недоліками методу є: складність зовнішнього охолодження роликів і деталі, необхідність додаткових пристосувань для унеможливлення нерівномірної товщини шару порошку при приварюванні та його висипання. Крім того, застосування феромагнітних порошоків ускладнюється під час подачі їх самопливом, оскільки використання імпульсного струму призводить до зникнення магнітного поля під час паузи, за якої порошок обсипається з деталі, погіршуючи якість формування шару [17, 19].

Ці недоліки певною мірою усуваються за умови використання напіввідкритої з одного або двох боків прес-форми, що перешкоджає витоку порошку в сторони з-під електродів. Але відомі пристрої прес-форм мають

складну конструкцію і не можуть бути використані для відновлення широкої номенклатури деталей. При цьому ускладнюється приварювання покриття безперервним швом на циліндричну деталь з перекриттям для отримання суцільного покриття. Також важко підібрати матеріал прес-форм, що дозволяє їх багаторазове використання. Струмінь охолоджувальної рідини і вплив магнітного поля ще більшою мірою ускладнюють процес і роблять вирішення завдання вкрай складним.



1 – електрод; 2 – деталь; 3 – металевий порошок

Рисунок 1.2 – Схеми приварювання металевих порошоків на деталі

Застосовувані бункери-дозатори не завжди забезпечують стабільну якість подачі порошку і подальшу його приварку. Це пов'язано з тим, що тиск на шари порошку в процесі наварки істотно змінюються в міру зменшення порошку в бункері. Ручне налаштування прохідного перетину крана ускладнене і трудомістке. Таким чином, недостатньо тільки подати порошок у зону приварювання під один або обидва електроди, не менш складне завдання – запобігти "витіканню", видавлюванню порошку в процесі приварювання під впливом зварювального тиску, рідини і магнітного поля, що утворюється під час проходження зварювального струму.

Застосування вологих (змочених) порошоків певною мірою є різновидом гравітаційного методу. Завдяки силам поверхневого натягу, створюваного змочувальною рідиною, порошок меншою мірою видавлюється з-під електрода в процесі приварювання, що дає змогу в 2...3 рази збільшити товщину одержуваного покриття. Крім того, за такої схеми певною мірою вирішується завдання охолодження електрода і деталі. Однак цей спосіб застосовний для обмеженої номенклатури деталей. Утримання порошку на циліндричних деталях малого діаметру і взагалі, профільних поверхнях є вельми складним. Нерівномірність його подачі в зону приварювання призводить до нестабільності властивостей покриття і порушення його суцільності, особливо в разі одношарового покриття. Застосування вологих порошоків не досліджене і має перспективу для подальшого вдосконалення. Прогнозуючи можна вважати, що застосування більш в'язких і магнітних рідин, а також використання порошоків з різними розмірами частинок дасть змогу в певних межах регулювати товщину одержуваного покриття.

Спосіб примусової подачі порошку може бути реалізовано у вигляді варіанту, який застосовують при всіх газотермічних способах нанесення покриттів. Зазвичай у цих технологіях порошок немов би "вдувається" в зону наплавлення газом, і який відповідно так і називають, "транспортувальний газ". Як транспортувальні гази найчастіше використовують повітря, азот, аргон і

низку інших газів та їхніх сумішей. Слід зазначити, що дугові та газотермічні способи категорично унеможливають застосування і навіть наявність рідини в газах, оскільки їхня присутність неминуче призводить до формування в шарі пор, раковин та інших дефектів.

КН здійснюється завжди з рясною подачею охолоджувальної рідини на відновлювану деталь і обидва електроди. У процесі приварювання температура електродів і деталі не повинна перевищувати 80... 100°C, а на практиці вона навіть нижча і оператор рукою контролює ступінь їхнього нагрівання, тому можна прийняти, що ця температура не перевищує 40....50 °C. Збільшення температури вище зазначених величин, з одного боку, веде до збільшення деформації деталі, а з іншого - створює небезпеку виходу з ладу бронзових електродів через підвищене зношування їхніх робочих поверхонь та поверхонь, що беруть участь у струмопідводі. Викладене вище дає змогу прогнозувати створення в перспективі способів, заснованих на принципі подачі порошку в зону приварювання в струмені рідини або пари. Це дасть змогу одночасно розв'язати завдання подачі порошку й охолодження деталі та електродів. Однак при контактному приварюванні порошку, потрібно не тільки подати, а й утримати його під електродами, оскільки в результаті прикладеного до електродів зусилля порошок видавлюється із зони контакту. Таким чином, для реалізації описаного способу необхідно розв'язати задачу утримання порошку в зоні контакту, наприклад, регулюванням напряду і напору струменя із суспензією. Однак навіть у разі створення такої системи подачі й утримання порошку залишаються важкопереборні недоліки способу: нерівномірність складу покриття під час використання суміші порошків і необхідність безперервного коригування складу суміші під час замкнутого циклу її використання.

Переваги та недоліки перерахованих методів дають змогу дійти висновку, що використання додаткових компонентів, які утримують порошковий матеріал, є найбільш доцільним. Але їхнє використання для отримання спечених, порошково-полімерних стрічок та інших компактних матеріалів

обмежує сферу їхнього застосування або вимагає виготовлення значної номенклатури присадних матеріалів із різних типів порошків залежно від їхнього призначення. Водночас використання таких компонентів у вищенаведених методах ускладнює і здорожує технологічний процес нанесення покриттів на відновлювані деталі, що ставить під сумнів доцільність його проведення.

Значного подорожчання процесу можна уникнути при вдосконаленні найбільш технологічних методів з мінімальними витратами. Отримання композиційного покриття КН можна зробити з використанням механічного способу утримання порошку. Для цього пропонується використовувати металеву сітку, попередньо закріплену на поверхні відновлюваної деталі. Під час подачі порошку на поверхню сітки, її чарунки транспортують частинки в зону приварювання і утримують їх від видавлювання, створюючи своєрідну прес-форму. Це створює можливість наварювання порошків гвинтової лінії на всю ширину відновлюваної поверхні.

Попередні експерименти показали, що застосування металевої сітки, незалежно від розміру чарунок, покращує утримування порошків у сухому вигляді на поверхні циліндричної деталі. Змивання частинок порошку охолоджувальною рідиною можна уникнути використанням роликів із внутрішнім охолодженням. Крім зменшення втрат порошку, цей спосіб створює широкі можливості щодо формування покриттів з різними експлуатаційними властивостями, за рахунок підбору матеріалу сітки та порошку.

Літературні дані з дослідження застосування металевої сітки при КН металевих порошків відсутні. Розробка технологічного процесу нанесення і дослідження властивостей одержуваних покриттів даним способом є новим у ремонтній практиці і відкриває нові можливості підвищення експлуатаційних властивостей відновлених деталей.

1.6 Цілі та завдання досліджень

З аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що відновлення зношених деталей методом КН порошкових матеріалів є перспективним напрямком у створенні зносостійких покриттів. Механічне утримання порошків у зоні приварювання є ефективним способом підвищення технологічності процесу та отримання якісних покриттів. Використання металевої сітки для цього є новим, і становить певний інтерес для вивчення запропонованої схеми. Покриття, що отримується таким чином, складається з привареного металевого порошку в чарунках сітки, і, ймовірно, матиме властивості композиційних матеріалів, що дасть змогу поліпшити експлуатаційні показники поверхонь тертя.

На підставі вищевикладеного, метою нашої роботи є підвищення ефективності технологічного процесу відновлення зношених поверхонь автомобільних деталей типу «вал» контактним наварюванням композиційних матеріалів на основі металевих порошків та сітки.

З урахуванням мети дослідження, а також особливостей досліджуваного питання було сформульовано такі завдання дослідження:

1. Дослідити теоретично й експериментально спосіб отримання композиційного покриття контактним наварюванням металевих порошків і сітки.
2. Вивчити процес ущільнення порошку в комірках сітки під час контактного наварювання.
3. Дослідити фізико-механічні властивості композиційного металопокриття та провести випробування зносостійкості деталей, відновлених розробленим способом.
4. Розробити технологію відновлення зношених деталей і оцінити ефективність впровадження результатів роботи у виробництво.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Обґрунтування вибору присадного матеріалу і схеми технологічного процесу приварювання

Аналіз наявних способів контактного наварювання металевих порошків засвідчив необхідність їхнього подальшого вдосконалення та дослідження нових складів для наварювання з метою поліпшення якісних характеристик одержуваного покриття. Численні дослідження показують, що між вихідними механічними властивостями матеріалів та їхніми антифрикційними властивостями немає прямого зв'язку. З аналізу процесів, що відбуваються під час тертя, випливає, що темп зносу поверхонь тертя визначається головним чином властивостями вторинних структур і залежить від характеру окисних плівок, які утворюються. Причому значення має не одна будь-яка властивість, а весь їхній комплекс – твердість, міцність, крихкість, міцність зчеплення з поверхнею основи. Це сильно ускладнює завдання вибору основи майбутнього антифрикційного матеріалу. Тому під час її вибору і вибору легувальних елементів необхідно прагнути до того, щоб у заданих умовах роботи покриття в основі матеріалу могли протікати ті процеси, які ведуть до утворення вторинних структур, які є оптимальними за зносостійкістю і коефіцієнтом тертя для заданого режиму роботи. Властивості основного металу і легуючих добавок визначають характер вторинних структур, що утворюються.

Відомо, що додавання легувальних елементів у сталі та чавуни значно підвищує зносостійкість деталей, причому коефіцієнт зносостійкості гомогенних сплавів істотно нижче, ніж гетерогенних. Оцінюючи вплив окремих легувальних елементів на зносостійкість потрійних сплавів Fe-C, можна розташувати елементи за зростанням значень зносостійкості в такий ряд: Mn - Cr - V - Ti.

Для контактного наварювання доцільно використовувати металеві порошки на основі заліза. Однак придатні для наварювання порошки типу ПЖ,

що випускаються промисловістю, мають невисокий вміст вуглецю. Використання порошків такого типу для відновлення деталей можливе тільки після науглецювання (цементації) в карбюризаторі з додатковими витратами енергії, часу і матеріалів. До того ж технологічний процес виготовлення порошку відновленням залізної окалини екологічно шкідливий. Усе це викликає необхідність пошуку нових матеріалів для нанесення зносостійких покриттів шляхом їх наварювання. У зв'язку з цим доцільно застосовувати матеріали, що складаються з порошків-сумішей, які дають змогу досягати такої самої зносостійкості, як і в разі використання цементованих порошків. Ці суміші мають містити найдрібніші частинки легувальних елементів і частинки вуглецю для того, щоб під час нагрівання під час наварювання відбувалися дифузійні процеси, що забезпечують мікропористу, гетерогенну, дрібнозернисту структуру.

Наявність вуглецю в структурі покриття призводить до утворення перлітних зерен, які розчиняються в процесі електроконтактного нагріву і переходять у розчин вуглецю в залізі. Швидке охолодження отриманих структур призводить до утворення мартенситних зерен, що забезпечують підвищену твердість покриття. Водночас вуглець сприяє процесу контактного наварювання, виконуючи захисну функцію від окислення частинок металевих порошків. Дія марганцю на зносостійкість за постійного вмісту вуглецю має екстремальний характер. Максимальна зносостійкість Fe-C сплавів проявляється при вмісті 6,0... 11,0% Mn [3, 8]. Максимальний коефіцієнт зносостійкості сплавів і хрому проявляється при 1,0...1,8% C і 10...20% Cr для сталей і 2,5...3,5% C і 15...25% Cr для чавунів. При цьому зносостійкість підвищується в міру збільшення вмісту Cr. Однак при приварюванні великий вміст хрому небажаний, оскільки спікання погіршується через появу міцних окисних плівок на поверхнях частинок таких сплавів. Структура сплаву залежно від вмісту вуглецю і хрому може бути феритною, ферито-перлітною, перлітною, перліто-мартенситною і ледебуритною з карбідами різних типів.

Істотно збільшити зносостійкість сплаву дає змогу додавання до його складу молібдену в кількості 1,5 ... 2,5 %, що пояснюється появою в структурі металу покриття мартенситу і самостійних карбідів молібдену Mo_2C .

Для забезпечення оптимального кількісного складу легуючих елементів у сумішах порошків бажано використовувати не окремі частинки легуючих елементів і вуглецю, а порошки феросплавів і легованих сталей, що містять необхідні елементи, які підвищують зносостійкість одержуваного покриття.

Нині промисловістю випускається понад 100 марок порошків легованих сплавів для нанесення покриттів різними методами. Різноманітність пропонованих матеріалів дає змогу розв'язувати задачі поверхневого відновлення, зміцнення та ефективного захисту від зносу деталей машин.

Випробування відносної зносостійкості, міцності зчеплення шару з основним металом, дослідження макроструктур і мікротвердості металу привареного шару і перехідної зони, мікрорентгенохімічний аналіз та інші дослідження дали змогу вибрати зносостійкі порошки і рекомендувати їх для відновлення електроконтактним способом низки деталей (табл.. 2.1).

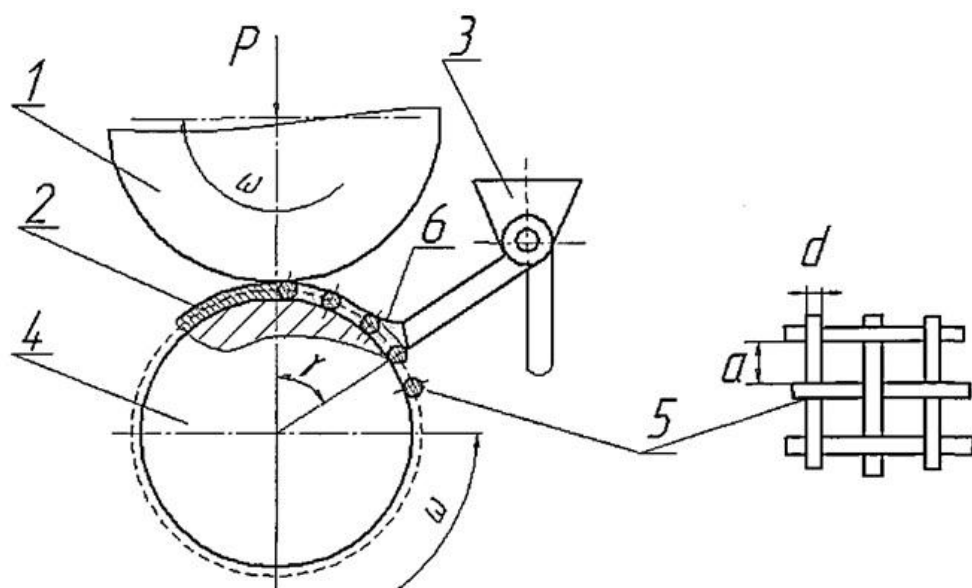
Таблиця 2.1 – Характеристики зносостійкості порошків для контактного наварювання

Порошок	Хімічний склад					Властивості шару	
	C	Si	Cr	Mn	Ni	Твердість, HRC	Відносна зносостійкість
УС-25	4,5...5,5	1,5...2,8	37...44	2,5	1,0...1,8	62...65	4,0
ПГ-ХН80СР2	0,3...0,6	1,5...4,0	12...15	1,5...2,5	Основа Fe	55...60	3...5
ПС-1	3,4...4,0	1,0...1,5	35...38	0,2...0,4	-	35...50	2,76
ПС-2	5,0...6,0	2,0...2,6	45...55	0,5... 1,2	0,5...2,0	58...65	4,5
СМ-УЗОХЗОГ8Т2	2,8	0,47	28,65	7,83	-	45...51	5,5
СМ-У20Х15Г20	1,75	0,55	13,75	18,18	-	27...35	2,6

Крім поданих у табл. 2.1 матеріалів, наявні рекомендації щодо застосування різних порошкових сумішей, порошків інструментальних сталей, твердосплавних матеріалів, а також відходів промислового виробництва.

У дослідженнях вирішено використовувати порошок марки ПР-Х11Г4СР, призначений для одержання зносостійких покриттів, які працюють у умовах високих швидкостей ковзання. Вибір даної марки порошку обумовлений наявністю в його складі легуючих елементів, що підвищують зносостійкі та міцнісні властивості, а також відсутністю літературних даних щодо застосування та дослідження властивостей покриттів, отриманих електроконтактним приварюванням даного порошку.

Технологічний процес нанесення покриттів реалізовано за схемою, наведеною на рис. 2.1.



1 – ролик- електрод; 2 – наварений шар; 3 – бункер; 4 – деталь; 5 – сітка;
6 – порошок

Рисунок 2.1 – Схема наварювання металевого порошку

Згідно з цією схемою, приварювання покриття проводиться на установках з вертикальним розташуванням роликів, що досягається незначною

модернізацією серійно випущених промисловістю установок. Модернізація полягає в додатковій установці бункера-дозатора з порошкопроводом і системи управління. Технологічний процес відновлення зношеної поверхні проводиться таким чином.

Перед нанесенням покриття на поверхню деталі закріплюється металева сітка, що приварюється в декількох точках на установці для контактного наварювання 01-11-02Н. Подача порошку здійснюється перед роликом-електродом під кутом γ (кут подачі порошку), що забезпечує повне заповнення комірок сітки. Під час обертання деталі комірки сітки транспортують частинки порошку в зону приварювання й утримують їх від видавлювання з-під електродів. Це створює можливість використання звичайних роликів шириною 4...5 мм, що дає змогу підвищити щільність струму і проводити приварювання по гвинтовій лінії.

Для реалізації пропонованої технологічної схеми приварювання рекомендується використовувати сітки дротяні гладкі з квадратними комірками за ДСТУ EN 10223-4-2001. У наших дослідженнях використовували сітки з низьковуглецевої сталі марки 8, 10 і 15 за ДСТУ 7809:2015.

Основними геометричними параметрами сітки є номінальний розмір сторони комірки у світлі a (мм) (відповідає номеру сітки), діаметр дроту d (мм) і живий перетин P (%).

Після механічної обробки привареного шару поверхня покриття являє собою композиційний матеріал із гетерогенною структурою, що складається з ділянок, які регулярно чергуються між собою – міцного, зносостійкого із низькими значеннями коефіцієнта тертя спеченого порошка і відносно м'якого матеріалу сітки, здатногоим утворювати оптимальну структуру під час тертя. Із застосуванням різних сіток можливе отримання композиційного покриття, що складається з 50...80% спеченого металевого порошку.

Різниця інтенсивності зношування матеріалів сітки та порошку, зумовлена їхніми фізико-механічними властивостями, створює передумови для формування рельєфу поверхні з виступами та западинами, які чергуються, що

визначається розмірами сітки. Утворені при цьому западини на робочій поверхні деталі є своєрідними «кишенями», що утримують мастильний матеріал. Утримання мастильного шару рельєфом поверхні і пористою структурою спеченого металевго порошку передбачає збільшення зносостійкості покриття.

Таким чином, використання металевої сітки при КН порошкових матеріалів створює теоретичні передумови підвищення технологічності процесу та експлуатаційних властивостей покриття. В даний час технологічний процес КН металевих порошків в комірках сітки не вивчений, відсутні практичні рекомендації. У зв'язку з цим виникає необхідність теоретичного обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів процесу.

2.2 Розрахунок кута подачі металевго порошку

Якісне формування покриття за схемою на рис. 2.2 можливе за умови забезпечення повного заповнення комірок сітки і подачі в зону приварювання достатньої кількості порошку. Заповнення комірок сітки залежить від технологічних властивостей порошку (гранулометричний склад, плинність) і від кута подачі порошку γ , за якого частинки не обсипаються з поверхні циліндричної деталі.

Для визначення величини кута γ розглянемо сили, що діють на частинку порошку: сила тяжіння G , нормальна реакція поверхні N , сила тертя F , відцентрова сила P і сила Φ , зумовлена дією магнітного поля. Позначимо початок координат у точці A і спрямуємо вісь X по радіусу деталі OA і вісь Y перпендикулярно X (рис. 2.2).

Умовою рівноваги зазначених сил є рівність сум проекції сил на рухливі осі координат [64], які можна записати у вигляді системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} G \cdot \sin \gamma - F - \Phi \cdot \cos \beta &= 0 \\ N + P - G \cdot \cos \gamma + \Phi \cdot \sin \beta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

$$mg(\sin \gamma \cdot \cos \varphi - \cos \gamma \cdot \sin \varphi) + \sin \varphi (m\omega^2 R + \Phi \sin \beta) - \Phi \cos \beta \cos \varphi = 0;$$

$$\text{звідси } \sin(\varphi - \gamma) = \frac{m\omega^2 R \cdot \sin \varphi + \Phi \sin \beta \cdot \sin \varphi - \Phi \cos \beta \cdot \cos \varphi}{mg};$$

$$\sin(\varphi - \gamma) = \frac{\omega^2 R \cdot \sin \varphi}{g} + \frac{\Phi}{mg} (\sin \beta \cdot \sin \varphi - \cos \beta \cdot \cos \varphi);$$

$$\sin(\varphi - \gamma) = \frac{\omega^2 R \cdot \sin \varphi}{g} + \frac{\Phi}{mg} \cdot \cos(\beta + \varphi);$$

$$\text{звідки } \gamma = \varphi - \arcsin \left(\frac{\omega^2 R \cdot \sin \varphi}{g} + \frac{\Phi}{mg} \cdot \cos(\beta + \varphi) \right);$$

$$\gamma = \varphi + \arcsin \left(\frac{\Phi}{mg} \cdot \cos(\beta + \varphi) - \frac{\omega^2 R \cdot \sin \varphi}{g} \right).$$

Враховуючи, що при КН кутова швидкість обертання деталі невелика, можна прийняти $\frac{\omega^2 \cdot R \cdot \sin \varphi}{g} = 0$, тоді

$$\gamma = \varphi + \arcsin \left(\frac{\Phi}{mg} \cdot \cos(\beta + \varphi) \right) \quad (2.3)$$

Якщо сила Φ спрямована до центру ролика, то можна записати

$$\gamma + \psi + \beta + \frac{\pi}{2} = \pi \quad \text{або} \quad \psi = \frac{\pi}{2} - \lambda - \beta$$

Зі схеми на рис. 2.2 визначаємо $\sin \gamma = \frac{BC}{R + R_p - h_0 + h_{cl}}$,

$$\text{звідки } BA = \frac{BC}{\cos \beta} = \frac{(R + R_p - h_0 + h_{cl}) \sin \gamma}{\cos \beta}.$$

Оскільки $BA \cdot \sin \psi = R \cdot \sin \gamma$, маємо

$$\frac{(R + R_p - h_0 + h_{cl}) \sin \gamma}{\cos \beta} \cdot \sin \psi = R \cdot \sin \gamma,$$

після перетворень одержуємо

$$\beta = \arctg \left[\operatorname{ctg} \gamma - \frac{R}{(R + R_p + h_{cl} - h_0) \sin \gamma} \right] \quad (2.4)$$

З рівняння (2.3) випливає, що до ввімкнення струму заповнення комірок сітки і утримання порошку можливе при дотриманні умови $\gamma \leq \varphi$. При ввімкненні струму кут подачі порошку можна збільшити. Для досліджуваної марки порошку кут внутрішнього тертя склав $30...32^\circ$, тому для повного заповнення комірок сітки кут подачі порошку повинен бути не меншим від цих значень. Вираз (2.4) пов'язує напрям сили Φ з кутом подачі порошку та геометричними параметрами технологічної схеми, який може бути визначений експериментальним способом.

2.3 Висновки з теоретичних досліджень

1. Запропонована схема приварювання металевих порошоків є перспективним способом підвищення технологічності процесу, якості та експлуатаційних властивостей покриттів. Застосування металевої сітки дає змогу отримувати композиційні покриття з використанням різних порошкових матеріалів. При цьому матеріал дроту є активним компонентом, що бере участь при зношуванні. Велика розмаїтість порошоків і металевих сіток, що випускаються промисловістю, створює передумови для формування покриттів із найрізноманітнішими властивостями.

2. Розроблена модель контактного наварювання металевих порошоків і сітки дає змогу визначити обґрунтовані параметри процесу приварювання, що включають кут подачі порошку, діаметр дроту сітки, товщину покриття, діаметр роликового електрода.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА

3.1 Обладнання для контактного наварювання

Наварювання композиційного покриття здійснювали на установці 01-11-02Н, призначеній для наварювання сталевого дроту на зовнішні циліндричні поверхні (рис. 3.1).

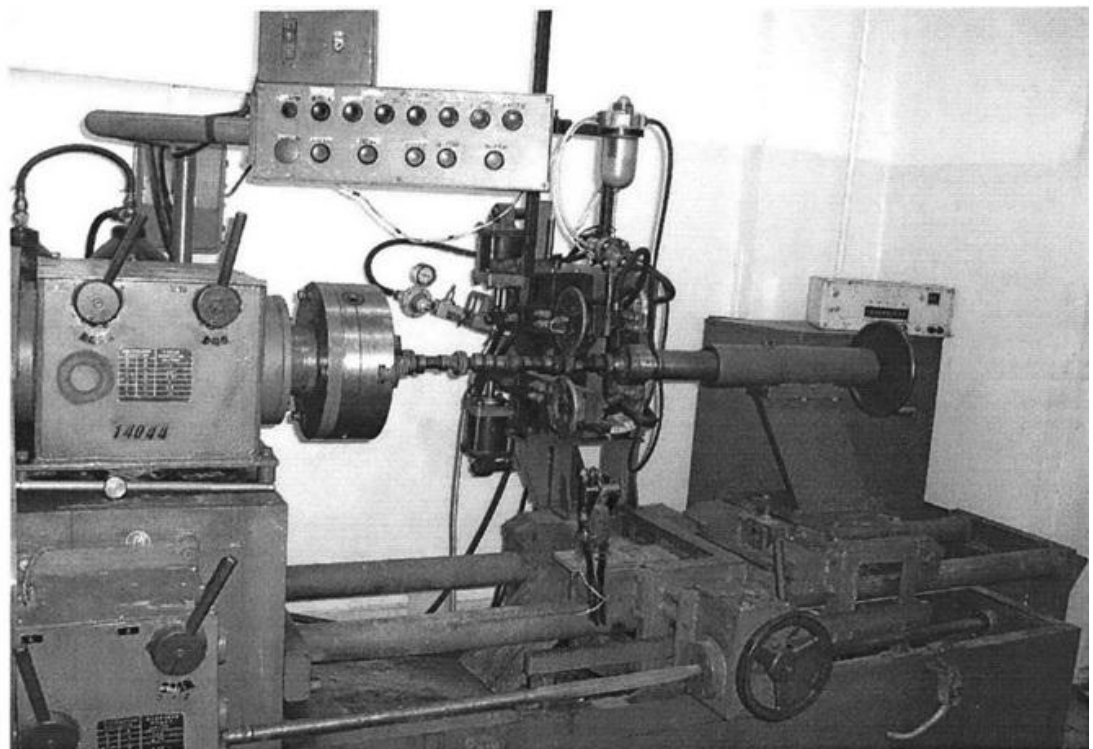
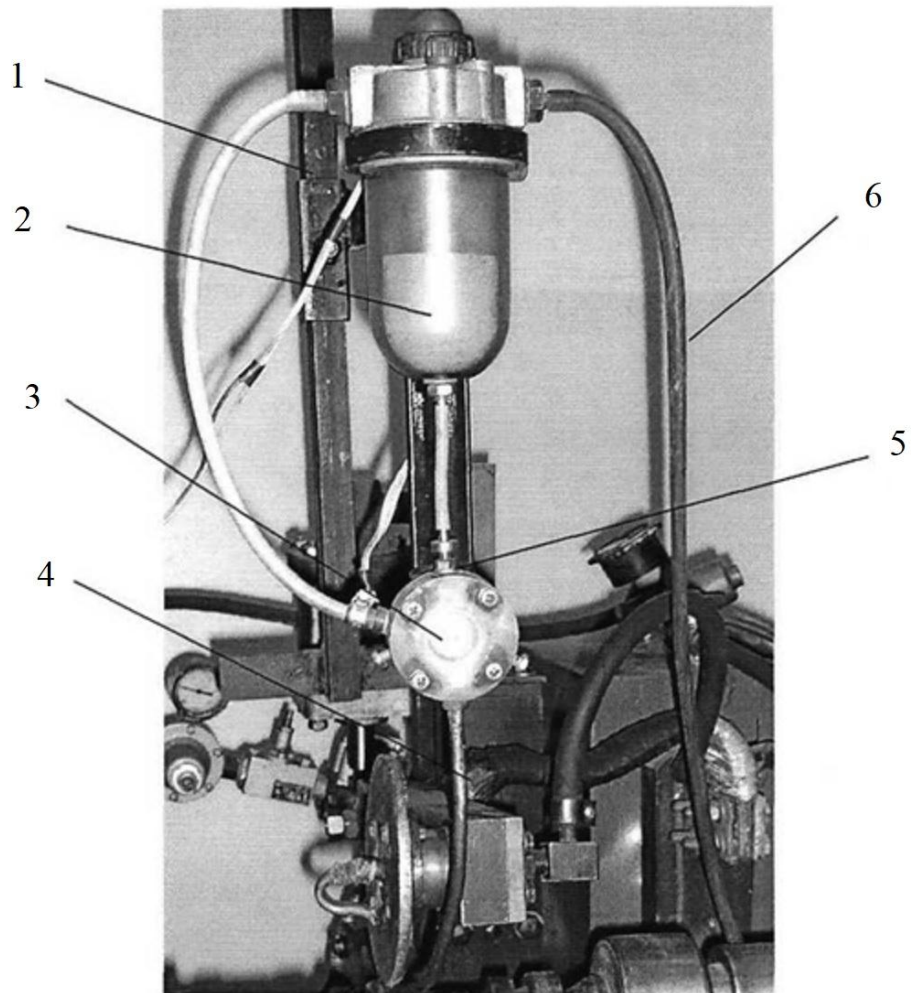


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд модернізованої установки

Для забезпечення можливості наварювання металевих порошків установку було забезпечено пристроєм дозованої подачі порошку (рис. 3.2). Пристрій закріплюється на стійці 1 і складається з бункера 2 ємністю $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, дозатора 3 і порошокопроводу 4. Дозування порошку здійснюється регулюванням частоти обертання електродвигуна постійного струму напругою 12 В, на валу якого встановлено барабан. Живлення електродвигуна здійснюється від мережі змінного струму через випрямний пристрій 5. Для запобігання закупорювання порошокопроводу і дозатора передбачено їхнє

обдування стисненим повітрям по повітропроводу 6. Подача повітря здійснюється з ресиверів установки через редуктор. Така конструкція пристрою забезпечує рівномірну і безперебійну подачу порошку в зону приварювання.



1 – стійка; 2 – бункер; 3 – дозатор; — порошкопровод; 5 – живильна трубка; 6 – повітропровод низького тиску

Рисунок 3.2 – Пристрій дозованої подачі порошку.

Для реєстрації режимів наварювання використовувалася спеціальна апаратура. Силу струму вимірювали за допомогою вимірювача зварювального струму АСУ-ІМ. Тривалість імпульсу струму і пауз визначали за регулятором циклу зварювання РКС-501, а тиск роликів-електродів за показаннями манометра установки. Режими КН обирали за літературними джерелами і за

необхідності коригували за результатами пошукових експериментів. Оцінювання оптимальних режимів приварювання проводили за критерієм міцності зчеплення покриття з основою класичним методом (методом Гаусса-Зейделя).

3.2 Дослідження особливостей КН порошоків у комірках сітки

3.2.1 Вплив технологічних властивостей металевих порошоків і розмірів сітки на формування покриття

Якість покриттів, одержуваних контактним наварюванням металевих порошоків залежить від режимів процесу, а також властивостей присадного матеріалу. Динамічна поведінка частинок порошку під час його транспортування в зону приварювання визначається його плинністю (рис. 3.3). При цьому плинність помітно впливає на підведення порошку в зону наварювання, а отже, на розподіл густини покриття і його властивості.

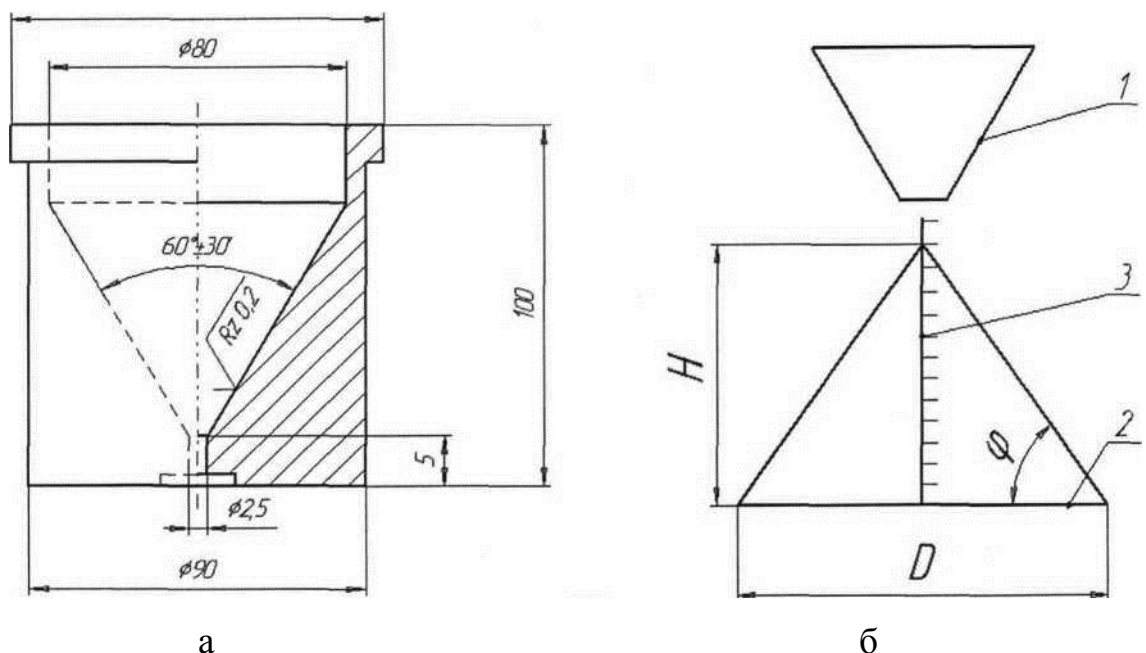


Рисунок 3.3 – Конічна воронка для визначення плинності (а) та схема до визначення коефіцієнта внутрішнього тертя (б)

Даних про розміри, розподіл і форму частинок порошку ще недостатньо для повного опису порошкової маси. За ними не просто з'ясувати статичну і динамічну поведінку сукупності частинок, що абсолютно необхідно для організації технологічного процесу. У зв'язку з цим, нами проводилися експерименти, що імітують різні операції з використання порошків з метою визначення впливу їхніх властивостей на технологічний процес наварювання.

За розробленою нами технологічною схемою для швидкого і рівномірного заповнення простору комірки сітки необхідно, щоб порошок, що наварюється, мав достатню плинність. Відомо, що як зі збільшенням, так і зі зменшенням розміру частинок, плинність менш сприятлива. Про це свідчать результати експерименту, проведеного з порошками різної зернистості. Характер зміни плинності, наведеної на рисунку 3.4, можна пояснити тим, що тонкі порошки мають більшу питому поверхню, внаслідок чого посилюється дія поверхневих сил. Грубі фракції порошків вирізняються поганою плинністю, оскільки механічне зчеплення частинок ускладнює протікання порошку через лійку.

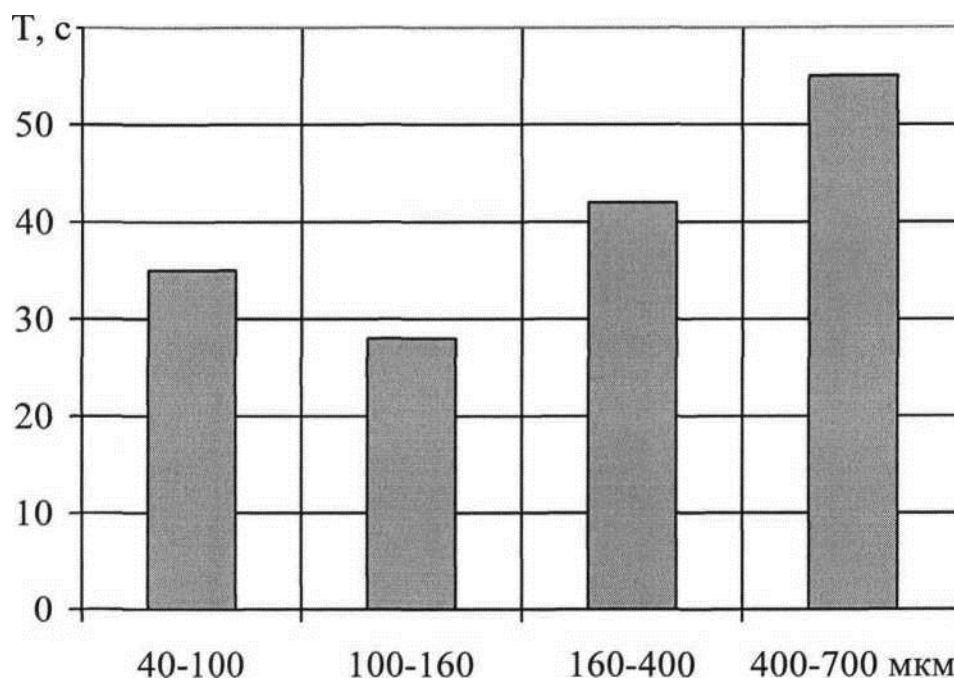


Рисунок 3.4 – Залежність плинності порошків від розміру частинок

З рис. 3.4 випливає, що найбільшу плинність мають порошки з гранулометричним складом 100... 160 мкм. Даний діапазон частинок має обраний нами порошок марки ПР-Х11Г4СР, тому під час підготовки порошку до наварювання поділ його на фракції не потрібен.

Під час транспортування порошоків у зону приварювання порошкопроводом, а потім поверхнею циліндричної деталі, значну роль відіграє зчеплення частинок між собою і з підкладкою. Зчіплюваність визначали для різних порошоків на пристосуванні з похилою основою. При цьому встановлено, що на зчіплюваність порошку значно впливає шорсткість поверхні підкладки, а також гранулометричний склад і форма частинок порошку. Для досліджуваного порошку кут тертя, визначений на підкладці з нержавіючої сталі шорсткістю Ra 2,4...3,1 мкм, становив 40...44°. Кут внутрішнього тертя, визначений за кутом нахилу твірної конуса, сформованого під час вільного засипання, становив 30...32°. Визначені експериментами значення вищевказаних параметрів використовувалися для здійснення подачі порошку в зону приварювання, згідно з теоретичними дослідженнями.

Геометричні розміри сітки також впливають на якість формування покриття. Основною геометричною характеристикою сітки, що визначає співвідношення компонентів покриття та утримання частинок порошку від видавлювання, є сторона комірки у світлі. Для вибору оптимальної сторони комірки у світлі проводилися пошукові експерименти з наварювання покриттів з використанням різних типорозмірів сіток на деталі різного діаметру. При цьому встановлено, що зі зменшенням діаметра деталей спостерігається підвищення втрат порошку від осипання. Використання сіток з меншими комірками сприяє деякому зниженню осипання. Зі збільшенням розміру деталі доцільно використовувати сітки з більшими комірками, найбільше значення якої не має перевищувати ширину ролика-електрода. Під час приварювання порошоків різної зернистості виявлено, що зі збільшенням розміру частинок погіршується заповнення комірок сітки, покриття формується несучільним.

Крім цього, використання великих порошків зумовлює формування грубої, грубозернистої структури з порами великих розмірів і неправильної форми, що зумовлює низькі механічні властивості КП. Приварювання порошків з дрібними частинками ускладнювалося частим закупорюванням порошкопроводу через утворення грудок, оскільки дрібнодисперсні порошки схильні до агломерації. За результатами експериментів виділили область рекомендованих розмірів осередків сітки для деталей різного діаметру, верхня межа якої відповідає для порошків зернистістю до 500 мкм (рис. 3.5).

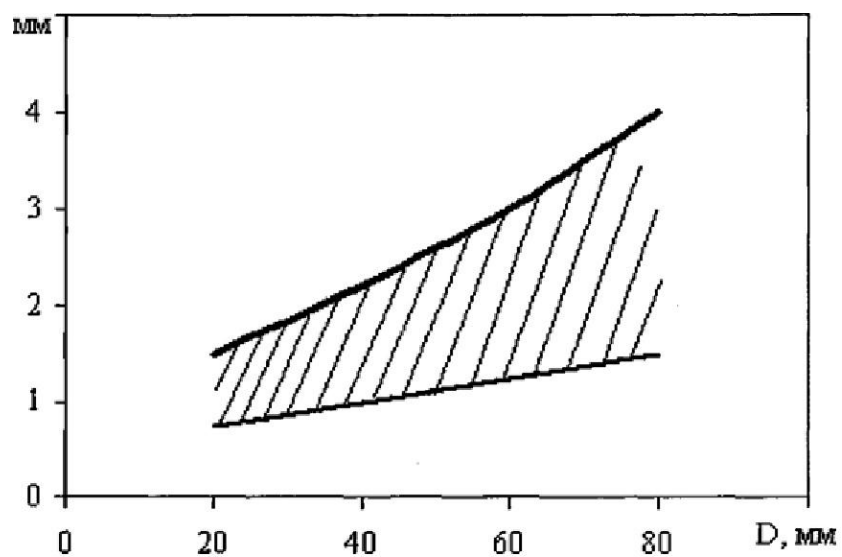


Рисунок 3.5 – Область рекомендованої сторони комірки у світлі для деталей різних діаметрів

3.2.2 Вплив кута подачі на втрати порошку від осипання

Результати дослідження технологічних властивостей порошків використовували для визначення кута нахилу порошкопроводу та оптимальної зони подачі відповідно до теоретичних досліджень. Адекватність теоретичних міркувань і розрахунків оцінювали за втратами порошку від осипання за різних значень кута подачі на циліндричні деталі діаметром 30, 50 і 70 мм (рисунок 3.6).

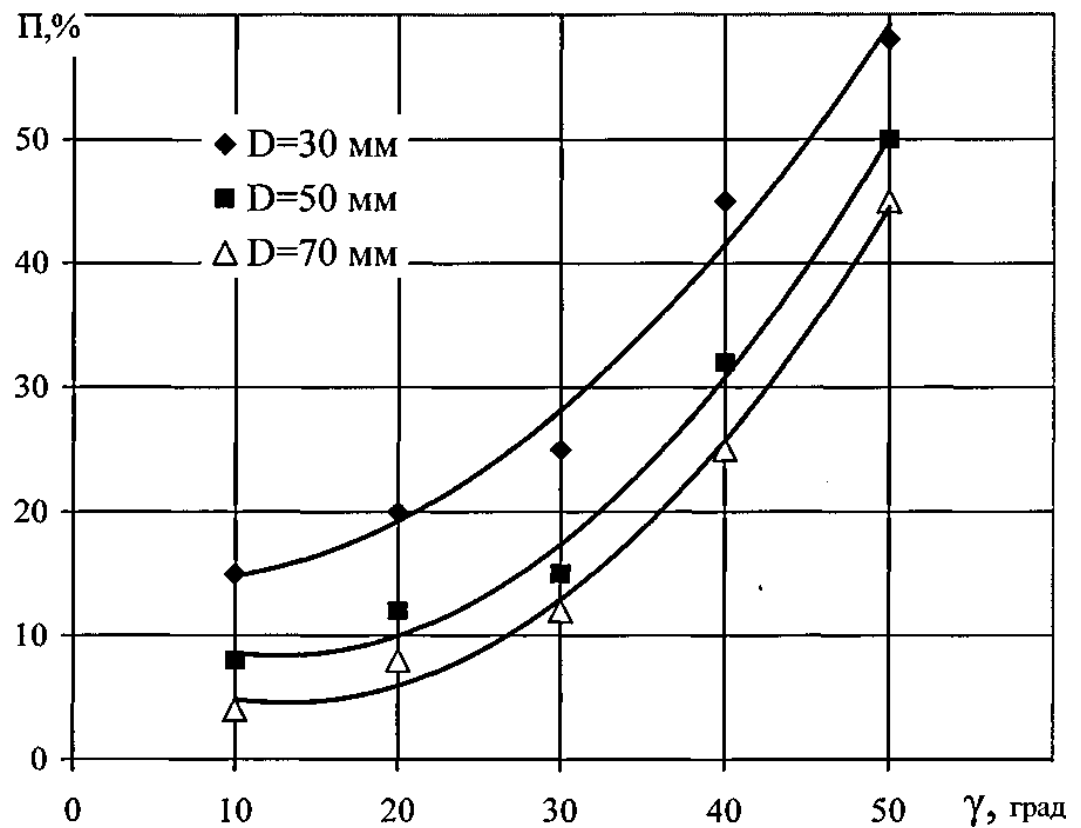


Рисунок 3.6 – Залежність втрат порошку від осипання від кута подачі та діаметра деталі

З наведених графіків випливає, що в разі подачі порошку без наварювання, зона різкого зростання втрат відповідає куту внутрішнього тертя порошків ($\gamma=30...32^\circ$). Під час увімкнення імпульсів струму характер кривої змінюється в бік зменшення втрат. Величина кута, за якого відбувається різке збільшення втрат, дещо зростає у зв'язку з притяганням до поверхні деталі феромагнітних порошків. Таким чином, можна зробити висновки, що результати експерименту підтверджують теоретичні припущення.

3.2.3 Вплив параметрів режиму контактного наварювання на формування покриття, якість з'єднання з основою та властивості

Дослідження впливу режиму контактного наварювання композиційного покриття на основі металевих порошків і сітки на формування покриття проводилося з метою визначення оптимальних значень параметрів техпроцесу.

При цьому використовувалися металевий порошок марки ПР-Х11Г4СР і сітка з маловуглецевої сталі з розміром комірок 2 мм, обрані на основі теоретичних досліджень і пошукових експериментів. Наварювання покриття проводили на зразки діаметром 50 мм зі сталі 45, а також на чавунні, вирізані з опорних шийок розподільного вала ЗМЗ-402.

Вплив режимів КН (величини зварювального струму – $I_{зв}$, тривалості імпульсів струму – $t_{имп}$, с, тиску роликів-електродів – $P_{ст}$) на міцність зчеплення покриття (τ) з основним металом деталі розглядали в багатьох роботах [1, 2, 4, 17, 19]. Збільшення будь-якого з вищевказаних параметрів наварювання викликає підвищення міцності зчеплення. Але їх зростання обмежується стійкістю конструкції установки і погіршенням якості покриття. Безсумнівно, наявність металевої сітки в покритті буде також впливати на міцність зчеплення, але характер залежності її від режимів КН повинен залишитися тим же.

Найкраща якість формування покриття спостерігалася за тиску близько 300 Н/мм. При подальшому збільшенні тиску швидко спотворювалася форма робочої поверхні ролика.

Сила струму процесу КН порошків залежить від напруги, тиску на ролик, складу суміші порошків і ширини ролика. Зміна будь-якого з них викликає зміну величини струму. Відомо, що отримання якісних покриттів із задовільним зчепленням забезпечується при дотриманні густини струму, що відповідає певній ширині ролика. У наших дослідженнях використовувався ролик шириною 5 мм, для якого рекомендується густина струму в межах 400...600 А/мм.

Покриття, отримані в зазначених межах густини струму, не забезпечували якісне формування шару і міцність зчеплення, внаслідок малого спікання частинок порошку між собою і поверхнею деталі. Це, мабуть, також пояснюється малим питомим опором суцільного матеріалу сітки, внаслідок якого струм протікає по ній, а частинки порошку за короткий проміжок часу не встигають досягти температури спікання. Для підвищення якості покриття

збільшувалася щільність струму. Верхня межа сили струму визначалася за погіршенням якості покриття, за якого деталь сильно нагрівалася, порошок плавився і налипав на ролик, утворювалися вибриви металу з поверхні покриття. За результатами попередніх експериментів верхню межу густини струму прийнято 2000 А/мм.

Для оцінки впливу зазначених меж тиску роликів і густини зварювального струму на якість зчеплення покриття з основним матеріалом деталі були проведені випробування на зріз, результати якого наведено на рисунку 3.7. Покриття на зразки для випробувань приварювали за струмів 5...6 кА і 9,5...11 кА в інтервалі зусилля стиснення електродів 0,6...1,8 кН. Час імпульсів і пауз ($t_{\text{імп}}=0,08$ с, $t_{\text{пауз}}=0,1$ с) обирали залежно від діаметра деталі та швидкості зварювання.

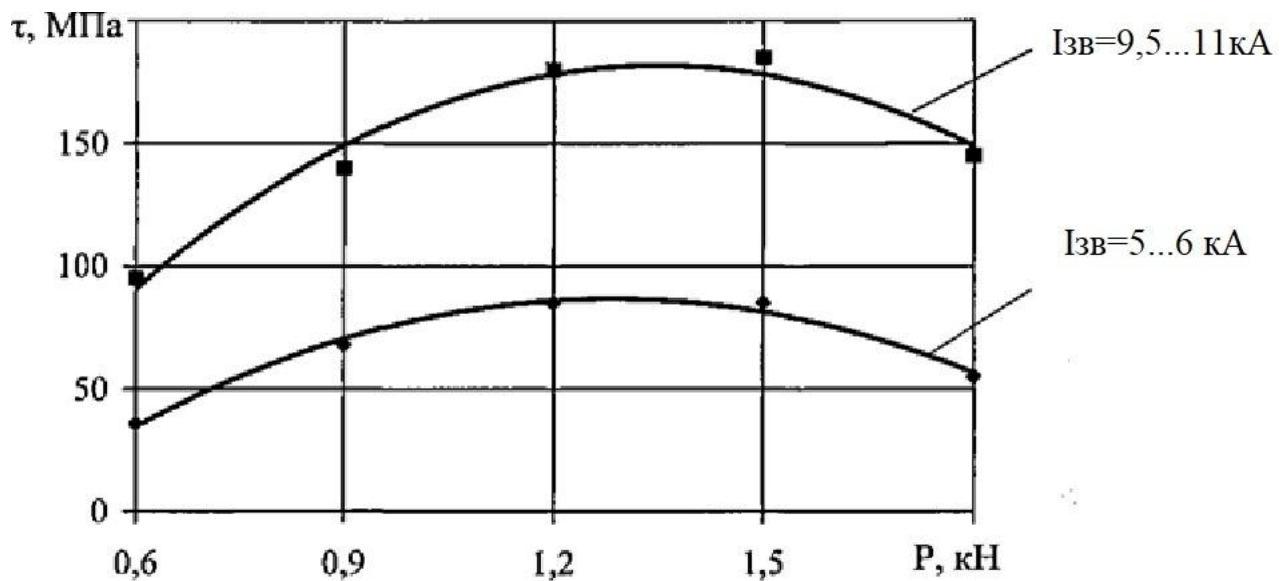


Рисунок 3.7 – Вплив зусилля стиснення електродів на міцність з'єднання покриття зі сталлю 45.

З рис. 3.7 видно, що залежність міцності з'єднання покриття з основою в розглянутому інтервалі зусилля стиснення τ має екстремальний характер із максимумом, причому максимальне отримано за умови $P=1,3...1,4$ кН.

За результатами досліджень приварених покриттів було обрано такі

параметри технологічного процесу: $I_{зв}=8...9$ кА, $t_{имп}=0,08$ с, $t_{пауз} - 0,1$ с, $P_{ст}=1,3...1,4$ Н при ширині ролика-електрода 5 мм. Покриття, отримані приварюванням порошку марки ПР-Х11Г4СР і сітки з маловуглецевої сталі діаметром дроту 0,5 мм і стороною комірки у світлі 2 мм на сталеві та чавунні зразки, мали міцність зчеплення з основою відповідно не менше ніж 155 і 120 МПа. Зазначені величини відповідають експлуатаційним вимогам для сполучень деталей автомобілів різного призначення.

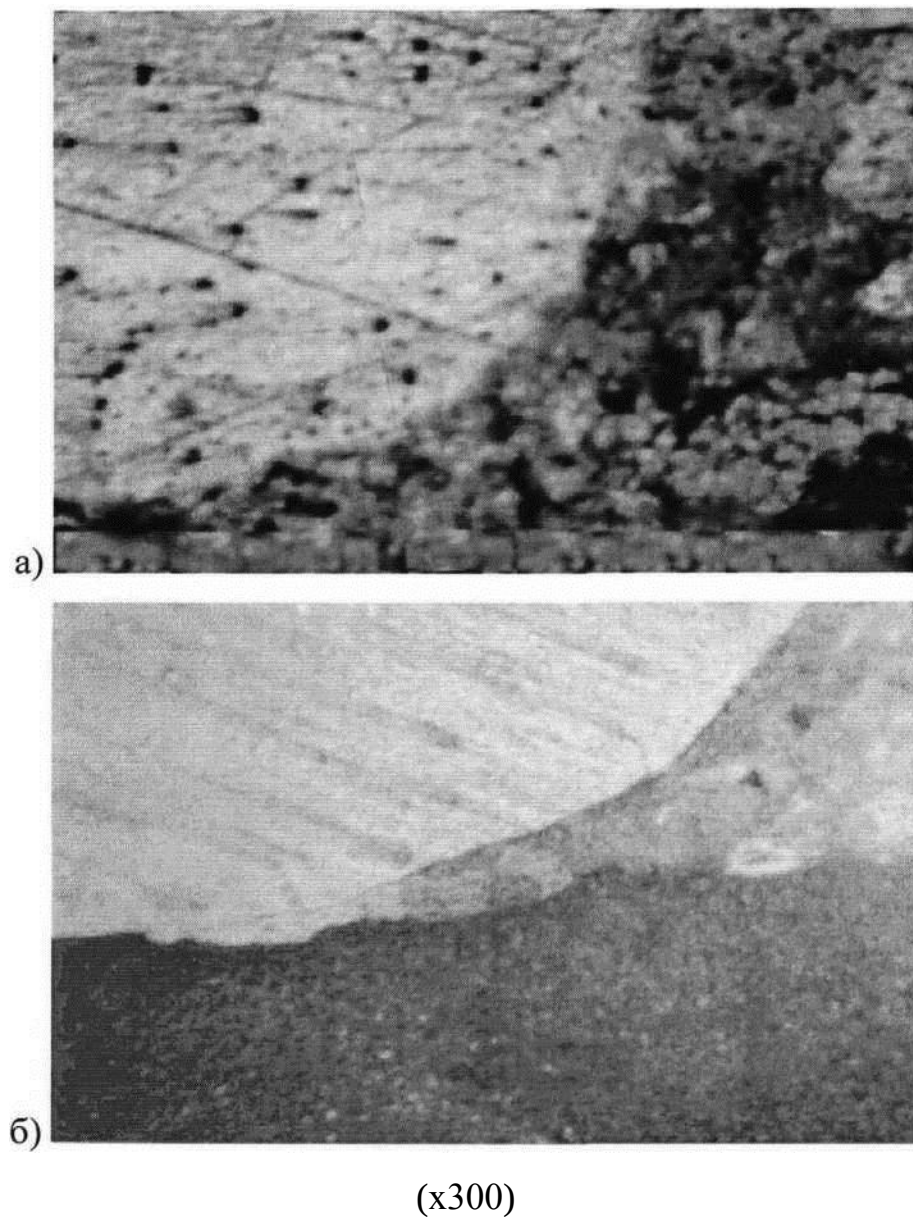
3.3 Дослідження якості та властивостей привареного покриття

3.3.1 Металографічний аналіз та оцінка пористості покриттів

Металографічний аналіз наварених покриттів проводився з метою завершального дослідження якості навареного шару і підтвердження теоретичних передумов. У результаті досліджень встановили залежність якості покриття, що наварюється, від технологічних режимів наварювання і властивостей порошків, що використовуються. Найбільший інтерес при цьому представляла оцінка якості наварювання порошку з основним металом і матеріалом сітки. Критерієм оцінки якості була відсутність пустот, тріщин, раковин тощо.

Гранулометричний склад і плинність порошку відіграють ключову роль у формуванні покриття. Так при використанні порошків з розмірами частинок понад 0,7 мм якісне покриття не формується. Спостерігається несплавлення частинок порошку між собою, з основним металом і матеріалом сітки. Покриття має високу пористість, є порожнини, особливо в зонах стику дроту й основного металу. Як наслідок таких дефектів є низька міцність одержуваного покриття. Збільшення «жорсткості» режиму наварювання ненабагато покращує якість покриття, а іноді й погіршує його у зв'язку з виплеском металу із зони зварювання. Це, очевидно, відбувається через те, що великі частинки не можуть повністю заповнювати простір комірки, а підвищений електроопір веде до іскріння зварювальної точки. Використання тонких порошків дає змогу

отримувати покриття досить монолітні та без видимих дефектів. Такі порошки повністю заповнюють порожні простори, тим самим залишаючи матеріал дроту зануреним у навареному порошковому матеріалі (рис. 3.8).



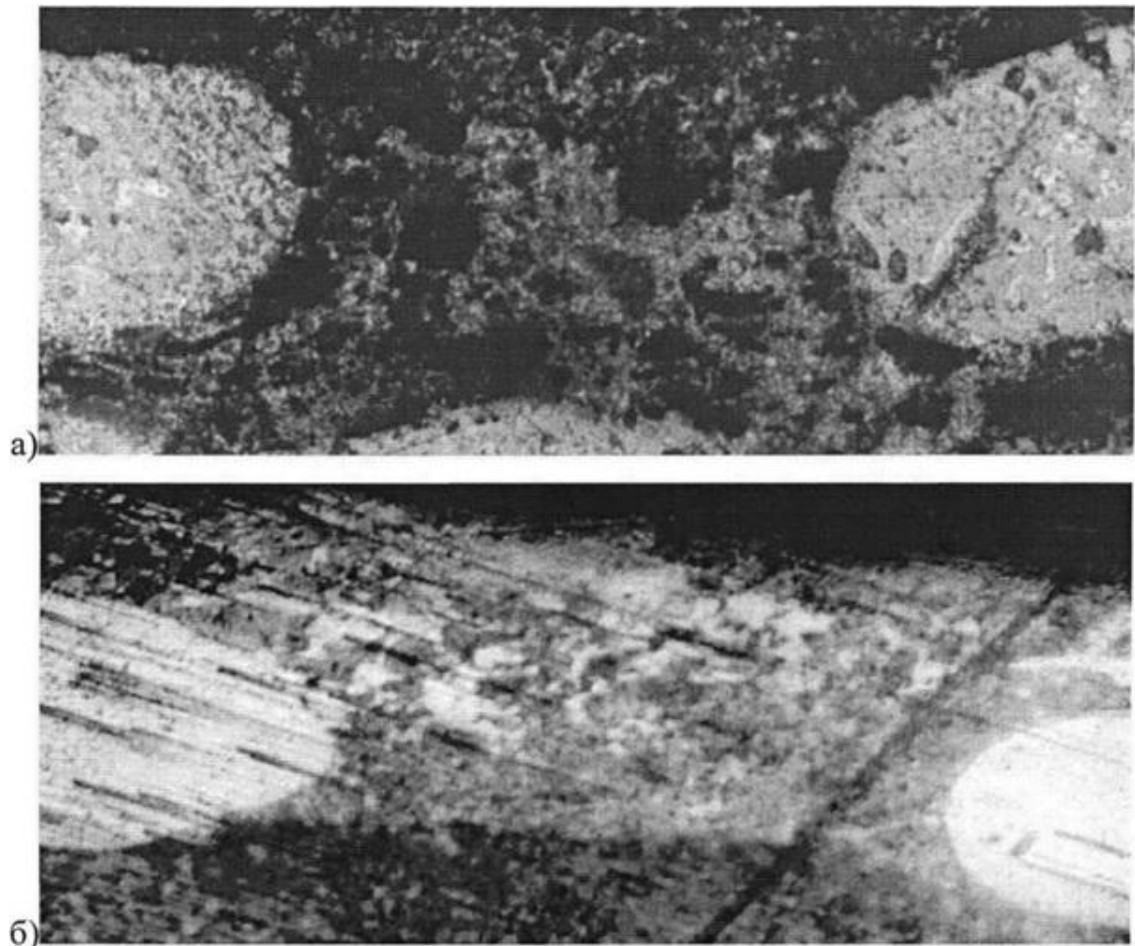
а – 500...700 мкм; б - 60...160 мкм

Рисунок 3.8 – Мікроструктура зони з'єднання матеріалу сітки з поверхнею деталі за зернистості порошку

Режими процесу наварювання також відіграють основну роль у якості покриття. Попередню оцінку якості проводили за зовнішнім виглядом

наварюваних покриттів на рекомендованих режимах наварювання порошкових матеріалів. Металографічний аналіз покриттів, виготовлених на різних режимах, дав змогу точніше оцінити їхній вплив на формування покриття. Оціночним критерієм експлуатаційної якості покриття була міцність зчеплення покриття з основою.

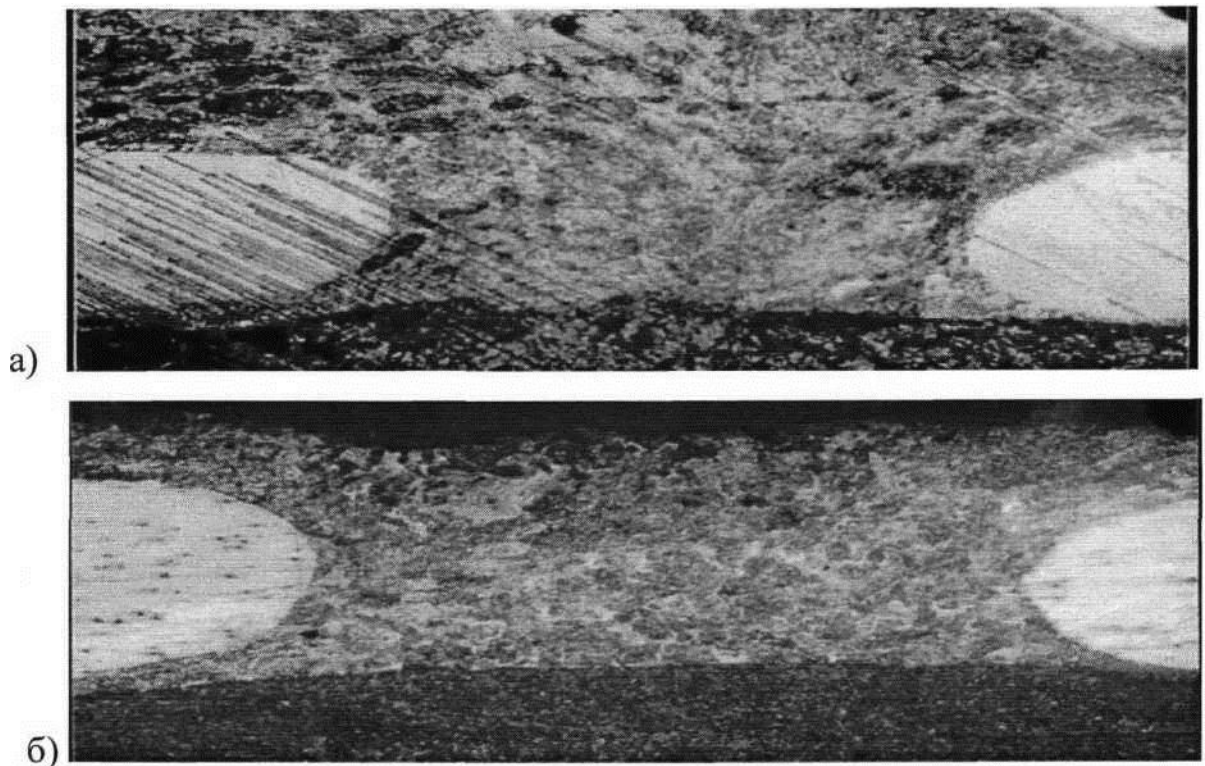
На рис. 3.9 наведені знімки покриттів, отриманих на різних режимах, що забезпечують міцність зчеплення з основою відповідно 55 і 160 МПа. З цього випливає, що наявність ділянок високої пористості матеріалу покриття різко знижують його міцність.



(x100)

Рисунок 3.9 – Мікроструктура покриття, навареного на режимах, що забезпечують міцність зчеплення: а – 55 МПа; б – 160 МПа.

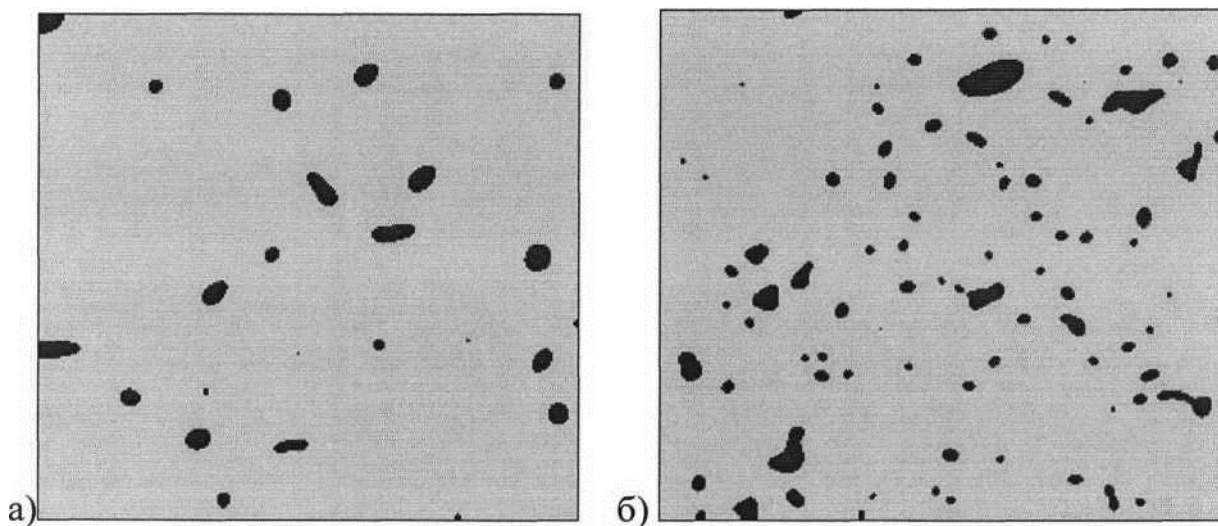
Аналіз зони з'єднання КП з чавунними і сталевими зразками показує, що якість зчеплення покриття зі сталевими набагато краща. Про це свідчить менша кількість ділянок несплавлення. За нетравленими шліфами не вдалося визначити межу зони наварювання покриття з основним металом. Межа сплавлення визначається тільки відмінністю структурних складових матеріалу покриття і деталі (рис. 3.10).



а – на зразок з чавуну ВЧ-50; б – на зразок зі сталі 45

Рисунок 3.10 – Мікроструктура навареного покриття

Для оцінки залежності ущільнення порошку в комірках сітки і без неї досліджували відповідні покриття. Приварювання покриттів проводили на однакових режимах і з використанням порошку однакової марки. Візуальна оцінка пористості покриттів показує більше ущільнення порошку в комірках сітки (рис. 3.11). Очевидно, цьому сприяє утримання порошку від видавлювання комірками сітки. Підвищену щільність покриття також можна пояснити додатковим його ущільненням за рахунок деформації дроту.



а – у комірках сітки; б – без сітки

Рисунок 3.11 – Зображення пористості порошкового покриття

3.3.2 Твердість і мікротвердість

Твердість порошкових покриттів визначається хімічним складом самого порошку, режимами наварювання, величиною перекриття витків. Метою наших досліджень було визначення твердості компонентів покриття, а також їхньої мікротвердості за товщиною покриття.

Заміри твердості проводилися за методом Вікерса. Для зручності порівняння отримані значення переводилися на значення твердості за Роквеллом з використанням перевідних таблиць.

У зв'язку з відмінністю матеріалів твердість за перерізом покриття сильно різниться. Для визначення твердості матеріалу сітки і порошку проводилися відповідні вимірювання. При цьому налаштування проводилося візуально, оскільки вимірювані поверхні розрізняються за кольором. Проведені таким чином вимірювання показали, що твердість матеріалу сітки становила HRC 25...28. Заміри твердості порошкового покриття показали, що вона значною мірою залежить від режимів приварювання. Вимірювання твердості порошкового шару по центру комірки сітки показало, що її величина може

перебувати в межах HRC 52...58. Різниця твердості матеріалу сітки і порошку дає змогу зробити висновки, що дане покриття матиме властивості композиційного покриття.

Для оцінки зміни твердості покриття за глибиною шару та зони термічного впливу було проведено вимірювання мікротвердості за середнім перерізом комірки. Результати вимірювання наведено на рис. 3.12.

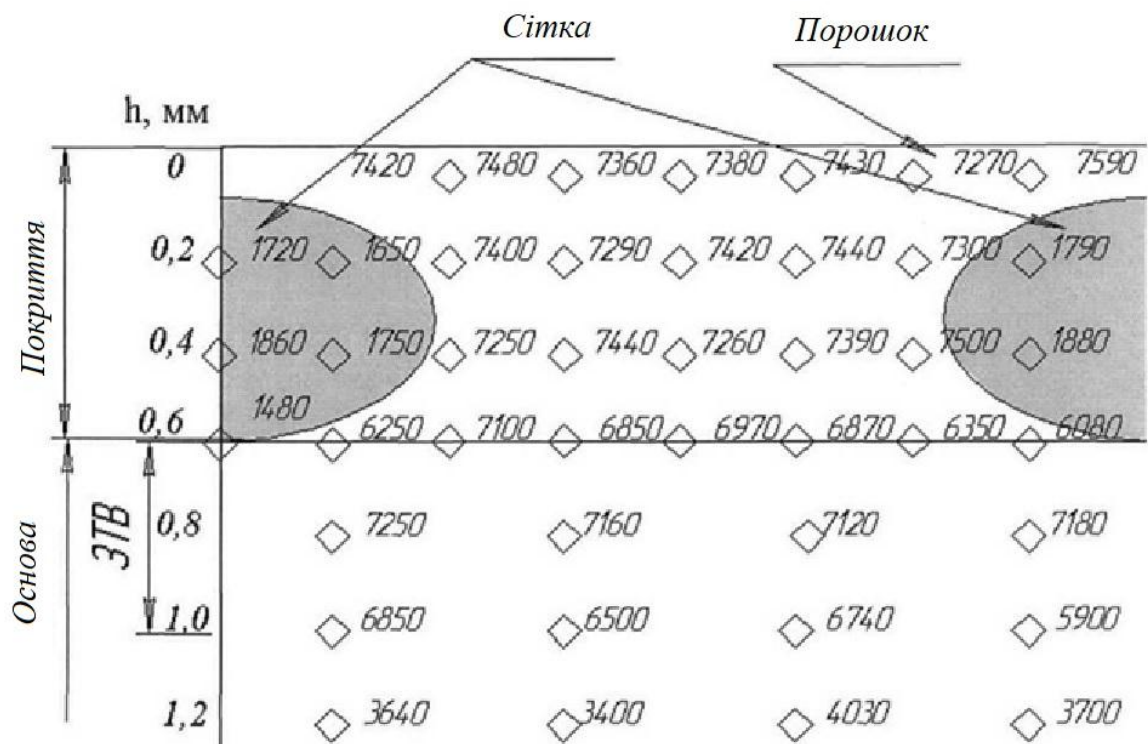


Рисунок 3.12- Мікротвердість зони з'єднання покриття з основою.

За результатами вимірювань встановлено, що:

- мікротвердість матеріалу сітки становить 1500...2000 МПа, а порошкового шару коливається в межах 6200...7500 МПа. Найвищі значення характерні для верхніх ділянок привареного шару. Це можна пояснити високою дисперсністю структури та швидким його охолодженням;
- зона термічного впливу на деталь не перевищує 0,5 мм, мікротвердість якої становить 4000...7300 МПа;

– значна розбіжність мікротвердості матеріалу компонентів покриття дає змогу припустити, що в цьому, менш м'якому, матеріалі відбуватиметься релаксація напружень, які виникають, що позитивно вплине на втомну міцність відроджених деталей.

3.3.3 Результати випробування зразків на зностійкість

Випробування приварених покриттів на зношування проводили на серійній установці СМЦ-2 (рисунок 3.13). Мета випробувань полягала у виявленні працездатності композиційного покриття, отриманого КН металевих порошку і сітки, в умовах тертя ковзання.

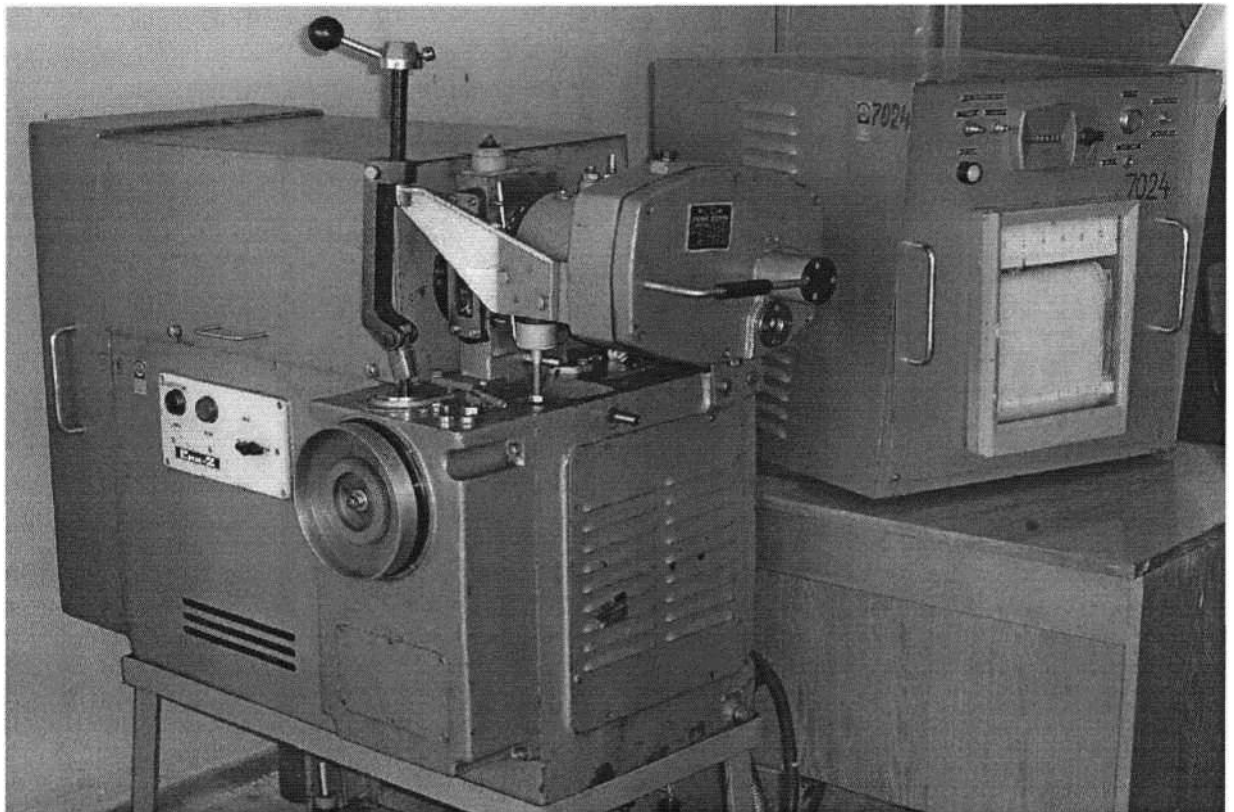


Рисунок 3.13 – Машина тертя СМЦ-2

Еталонними зразками були заготовки, вирізані з чавунних опорних шийок розподільного вала двигуна ЗМЗ-402 і зі зразки зі сталі 45, загартовані до твердості HRC 40...45. Об'єктами експериментальних досліджень були зразки-

ролики, вирізані зі сталі 45, на які наварювали КП. Як контртіло використовували колодочки із сірого чавуну марки СЧ-10 (рис. 3.14).

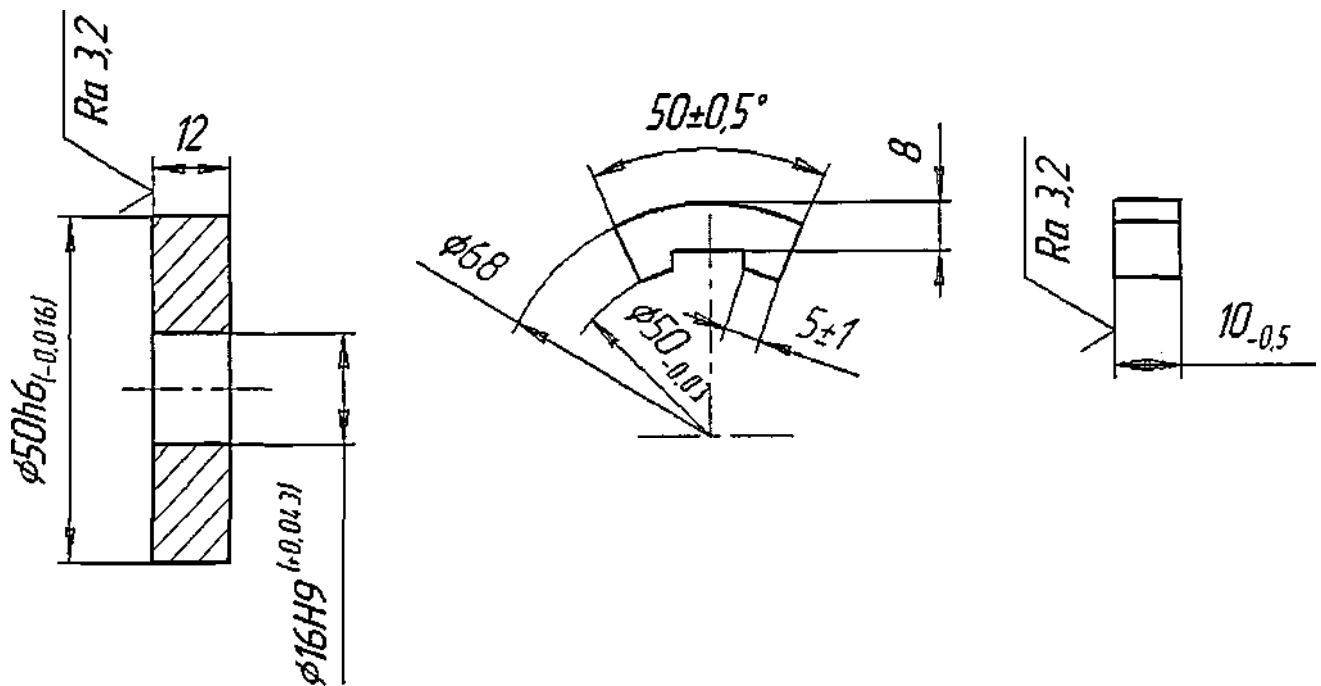


Рисунок 3.14 – Зразок і контр тіло для випробувань на зносостійкість

Для вимірювання зносу використовувався метод штучних баз. Метод штучних баз ґрунтується на визначенні величини лінійного зносу за зміною розмірів поглиблення, що звужується, заздалегідь відомого профілю, виконаного на досліджуваній поверхні.

Для запобігання перегріву мастильного матеріалу застосовували його охолодження за допомогою теплообмінника з латунної спіралеподібної трубки, в яку під напором подавали холодну воду (рис. 3.15). Охолодження мастильного матеріалу давало змогу збільшити допустиме навантаження під час тертя, і тим самим реалізувати прискорені випробування.

Випробування на зносостійкість показали, що покриття, отримані контактним наварюванням, успішно працюють під час тертя з обмеженим подаванням змащення. За результатами випробувань побудовано графіки зміни моменту тертя і величини зносу через відповідні проміжки часу (рисунок 3.16)

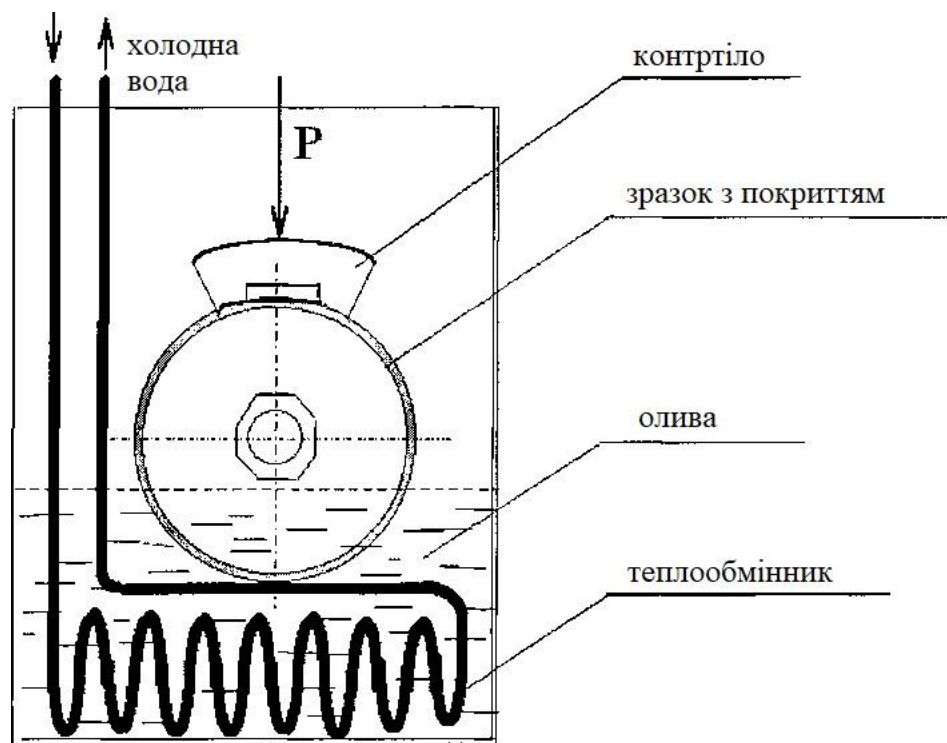
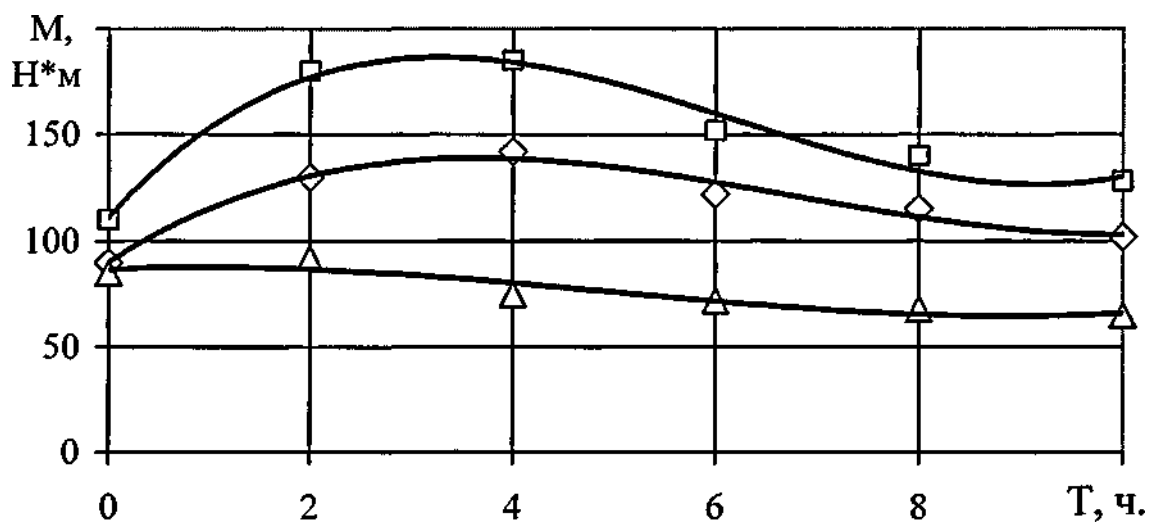


Рисунок 3.15 – Схема випробувань на зносостійкість



◇ – зразки із чавуну; □ – зі сталі 45; △ – з КП

Рисунок 3.16 – Зміна моменту тертя при випробуваннях на зносостійкість

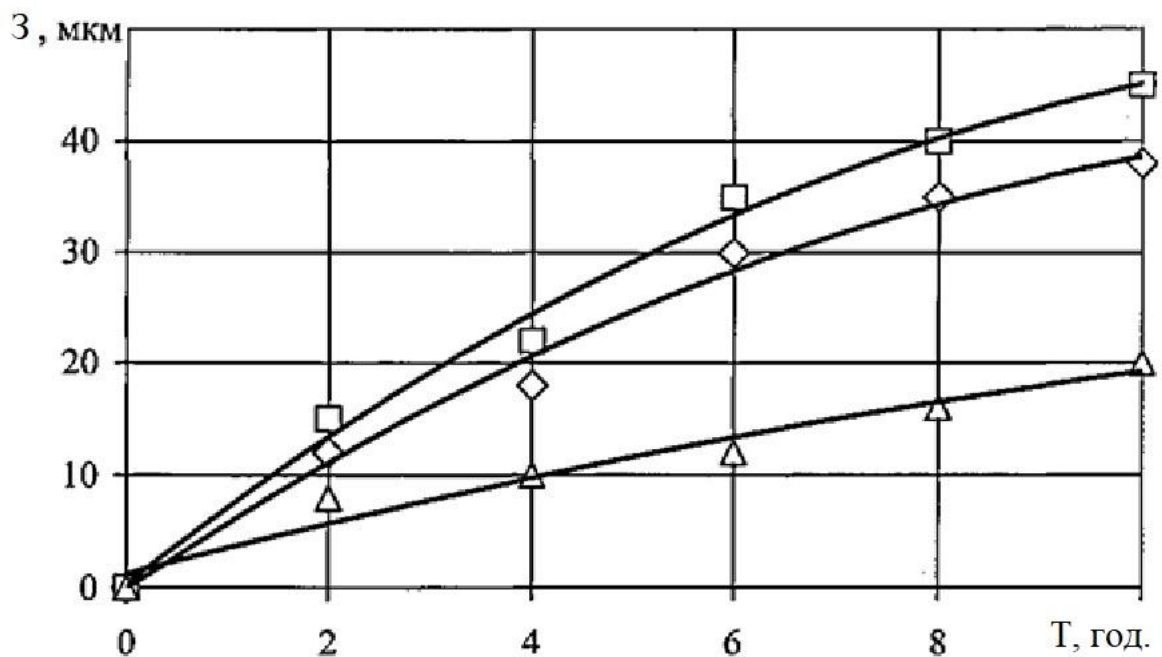
З графіка випливає, що процес припрацювання зразків із загартованої сталі 45 під час роботи з контрзразками з сірого чавуну перебуває в межах

2...2,5 годин. До цього часу припиняється зростання моменту тертя сполучення. Під час подальших випробувань спостерігається плавний і незначний спад моменту тертя, що практично свідчить про стабілізацію процесу зношування. Період припрацювання сполучень із дослідних зразків коротший і становить близько однієї години. До цього часу температурний стан поверхонь і момент тертя стабілізується, і під час подальшого зношування залишаються на постійному рівні.

Порівнюючи величини моментів тертя, можна відзначити, що під час зношування зразків із покриттям із порошкових матеріалів величина моменту тертя в 1,5...2 рази менша, ніж під час зношування еталонних зразків за одних і тих самих умов. Різницю у величині моменту тертя під час зношування дослідних і еталонних зразків можна пояснити тим, що на випробовуванні дослідні зразки нанесене пористе покриття, що має ефект самозмащення.

З огляду на вплив моменту тертя на процес зношування, і беручи до уваги меншу величину цього параметра під час зношування зразків із покриттям із порошкових матеріалів, слід очікувати, що зношування дослідних зразків буде меншим, ніж зношування еталонних. Дійсно, аналіз результатів зносостійких випробувань (рис. 3.17) показує, що в процесі припрацювання величина зношування еталонних зразків значно перевершує зношування зразків із покриттям із порошків. Коефіцієнт зносостійкості дослідних зразків на цьому етапі досягає величини порівнянної з еталонним зразком.

Під час усталеного процесу зношування характер кривих зносу дослідних і еталонних зразків аналогічний. Зносостійкість зразків з покриттям на цьому етапі перебуває в межах 1,15... 1,25 зносостійкості еталонних зразків. Процес припрацювання не було виключено з циклу зношування, оскільки припрацюваність матеріалів тертьових сполучень є важливою їхньою характеристикою. Інформація про припрацюваність покриттів, отриманих КН порошків і сітки, становить певний інтерес.

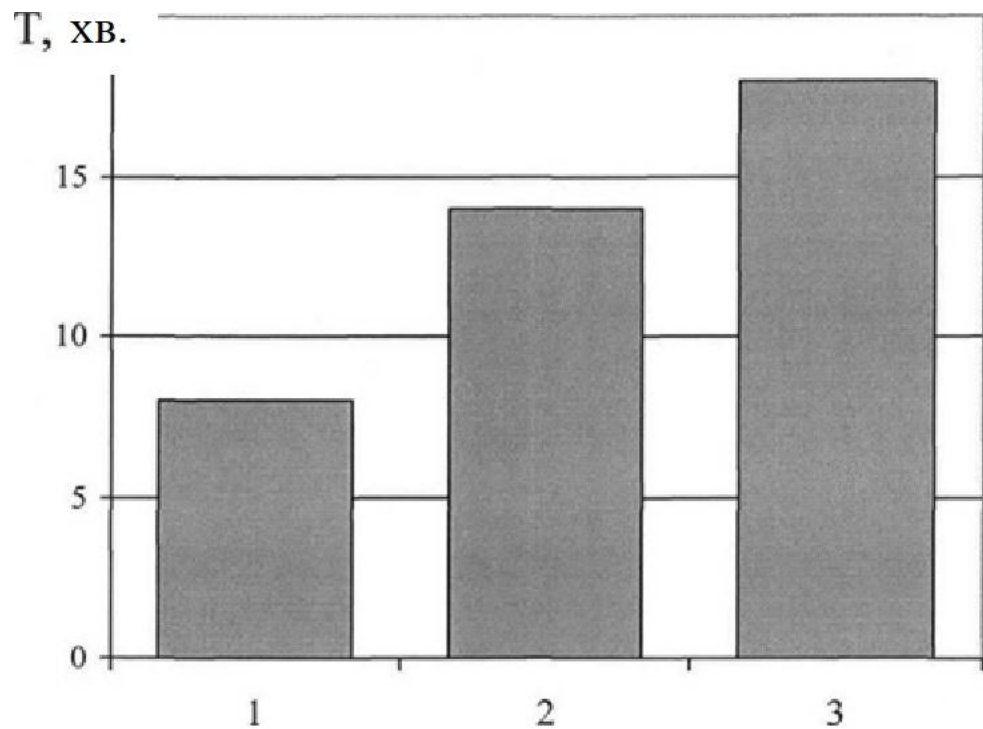


◇ – зразки із чавуну; □ – зі сталі 45; △ – з КП

Рисунок 3.17 – Величина та характер зносу зразків

Зміна рельєфу еталонного зразка характеризується згладжуванням нерівностей, збільшенням відносної опорної площі. Профіль поверхні дослідного зразка набуває мікрорельєфу, від якого визначається розміром комірки сітки. У результаті тертя матеріал сітки з меншою твердістю зношується більш інтенсивно. Канавки, що утворюються при цьому, здатні утримувати додаткову кількість оливи, що сприяє зношуванню при обмеженому подаванні мастильного матеріалу.

Для практичного підтвердження цих положень було проведено експеримент, сутність якого полягала у визначенні часу роботи зразків без мастила до моменту заїдання. Для цього експерименту використовували зразки, що пройшли зносні випробування. Зразки перед випробуванням витримувалися у ванні з моторним маслом протягом 24 годин. Момент заїдання визначався різким зростанням моменту тертя. Результати визначення часу до заїдання представлені як гістограми (рисунок 3.18).



1 – зразки із сталі; 2 – з чавуну 45; 3 – дослідний

Рисунок 3.18 – Час до заїдання зразків

З рис. 3.18 видно, що дослідні зразки в парі з чавунними контрзразками без мастила до заїдання працювали в середньому в 4,5 рази довше, ніж зразки із сталі 45 у парі з такими ж контрзразками. Час до моменту схоплювання зразка, вирізаного з розподільчого валу, також виявилося кращим у порівнянні з еталонним. Це, мабуть, можна пояснити наявністю пор у порошковому покритті і зразку з чавуну, які мають маслопоглинальну здатність. У міру нагрівання олива, що знаходиться в порах, змащує поверхні, що труться, що є позитивною стороною. Іншими словами, пара, в яку входить деталь з покриттям з порошків, здатна при роботі витримувати вищі температури до схоплювання за умови недостатності мастила.

3.4 Висновки за наслідками експериментальних досліджень

Аналіз результатів досліджень дозволяє зробити такі висновки:

1. З'ясовано, що використання металевої сітки дозволяє підвищити технологічність способу КН металевих порошків. При цьому зменшуються втрати порошкового матеріалу від обсіпання, створюється можливість регулювання товщини покриття, що приварюється. Для отримання якісних покриттів доцільно використовувати порошки з гранулометричним складом 40...160 мкм, що мають найбільшу плинність. Співвідношення компонентів покриття залежить від сторони комірки в світлі металевої сітки, вибір якої визначається шириною ролика-електрода, зернистістю порошку та діаметром деталі. Зміною кута подачі порошку та вибором діаметра дроту сітки забезпечується регулювання товщини покриття від 0,3 до 1,5 мм.

2. Вибрано оптимальні режими приварювання, що забезпечують якісне формування покриття та достатню міцність зчеплення. Встановлено, що наварювання порошку в комірках сітки необхідно проводити більш жорстких режимах. Для достатнього нагрівання та спікання частинок порошку в комірках сітки з малим питомим опором потрібні великі значення величини та часу проходження струму, тиску стиснення електродів. Для діаметра деталей 50 мм обрані такі режими приварювання: $I_{зв}=8...9$ кА, $t_{имп}=0,08$ с, $t_{пауз}=0,1$ с, $P_{ст}=1,3...1,4$ кН. Міцність покриття, отриманого на зазначених режимах, становила 155 і 120 МПа відповідно для сталевих та чавунних зразків.

3. Порошок, що знаходиться в комірках сітки, при контактному наварюванні піддається тривісному стисненню, обумовленому тиском роликів-електродів і деформацією дроту сітки, що сприяє додатковому ущільненню порошку. Пористість порошкового шару навареного на оптимальних режимах становить 2...6%. Вивчення відкритої пористості спеченого в комірках сітки порошку підтверджує теоретичні висновки про характер розподілу густини по товщині покриття.

4. Металографічними дослідженнями виявлено залежність якості

покриттів, що наварюються, від технологічних властивостей металевих порошків, геометричних параметрів сітки та режимів процесу КН. Міцність зчеплення покриттів, наварених на оптимальних режимах, для сталевих деталей становить не менше 155 МПа, а для чавунних не менше 120 МПа. Безперечною перевагою запропонованої технології є можливість формування регульованої гетерогенної структури покриття. Внаслідок різної інтенсивності зношування матеріалу порошку та сітки покриття набуває регулярного рельєфу, що сприяє утримуванию мастильного матеріалу та забезпечує надійну експлуатацію вузлів тертя при граничному навантаженні. Лабораторними випробуваннями встановлено, що одержувані композиційні покриття мають високі зносостійкі властивості, що перевищують зносостійкість сталі 45 в 2,5 рази, а чавуну в 1,9 рази.

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ КОНТАКТНИМ НАВАРЮВАННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Технологічний процес та аналіз ефективності відновлення опорних шийок розподільного вала двигуна ЗМЗ-402 контактним наварюванням композиційних матеріалів

Ефективність застосування контактного наварювання композиційних матеріалів розглянемо на прикладі відновлення розподільного вала двигуна ЗМЗ-402.

Розподільний вал двигуна ЗМЗ-402 має 8 робочих кулачків, необхідні взаємодії з штовхачами клапанів. Завдяки обертовому руху від колінвала вони передають імпульси на відкриття та закриття клапанів у потрібні фази циклу.

Для відновлення розподільного вала можна рекомендувати технологічний процес, схема якого наведена на рис. 4.1.

Для оцінки економічної ефективності відновлення визначаємо матеріальні витрати

$$B_m = B_{\text{мат}} \cdot K_{\text{тзв}}, \quad (4.1)$$

де $B_{\text{мат}}$ – вартість матеріалів, необхідних для відновлення розподільного вала (порошку та сітки);

$K_{\text{тзв}}$ - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати.

$$B_m = 168,22 \cdot 1,1 = 184,80 \text{ грн.}$$

Трудовісткість відновлення розподільного вала та зарплата робітників наведені в табл. 4.1.



Рисунок 4.1 – Технологічний процес відновлення розподільних валів двигуна 3МЗ-402 КН композиційних матеріалів

Таблиця 4.1 - Трудомісткість відновлення розподільного вала КН КП

Найменування операції	Трудомісткість операції, люд-год.	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн/год.	Заробітна плата, грн.
Зварювальна (КН КП)	1,02	IV	75,37	76,88
Зварювальна (Кріплення сітки)	0,25	IV	75,37	18,85
Шліфувальна	1,36	IV	75,37	102,51
Всього				198,24

Витрати на оплату праці робітників з нарахуванням додаткової заробітної плати у розмірі 10% [6, 7]:

$$B_3 = 3_{\text{п}} + 0,1 \cdot 3_{\text{п}} \quad (4.2)$$

$$B_3 = 198,24 + 0,1 \cdot 198,24 = 218,07 \text{ грн.}$$

Визначаємо відрахування до єдиного соціального внеску (для ФОП – 22%):

$$B_{\text{соц}} = 218,07 \cdot 0,22 = 47,98 \text{ грн.}$$

Визначаємо накладні витрати:

$$B_{\text{н}} = K_{\text{н}} \cdot B_{\text{з}} \quad (4.3)$$

$$B_{\text{н}} = 0,5 \cdot 218,07 = 109,04 \text{ грн.}$$

Таким чином, собівартість відновлення розподільного вала двигуна ЗМЗ-402 КН КП

$$C = B_{\text{м}} + B_{\text{з}} + B_{\text{соц}} + B_{\text{н}} \quad (4.4)$$

$$C = 184,80 + 218,07 + 47,98 + 109,04 = 559,98 \text{ грн.}$$

Ціна нового розподільного вала двигуна ЗМЗ-402 складає $C = 5705,70$ грн., тобто економічний ефект відновлення одного розподільного вала складе 5145,81 грн.

Економічний ефект відновлення за рахунок збільшення довговічності відновлених деталей [7, 8]

$$E = \frac{C}{P_{\text{н}}} - \frac{C}{P_{\text{в}}} \quad (4.5)$$

де C – ціна нової деталі, $P_{\text{н}}$, $P_{\text{в}}$ – ресурс відповідно нової та відновленої деталі, $P_{\text{н}} = 1$.

$$E = \frac{5705,70}{1} - \frac{559,98}{1,9} = 5410,98 \text{ грн.}$$

4.2 Висновки

У результаті застосування розробленої технології досягається економія 5145,81 грн. на одну деталь. Економічний ефект відновлення з урахуванням збільшення довговічності відновлених деталей складає 5410,98 грн.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологічний процес відновлення зношених поверхонь деталей контактним наварюванням композиційного покриття на основі металевих порошків марки ПР-Х11Г4СР і сітки з низьковуглецевої сталі. Встановлено, що металева сітка підвищує технологічність процесу КН металевих порошків шляхом утримування порошку в зоні приварювання і дає змогу зменшити втрати присадного матеріалу від осипання до 30% порівняно з методом вільного засипання порошку.

2. Теоретично та експериментально доведено, що зміною кута подачі порошку і вибором діаметра дроту сітки забезпечується регулювання товщини покриття від 0,3 до 1,5 мм.

3. Порошок, що знаходиться в комірках сітки, під час контактного наварювання зазнає трьохосового стиснення, зумовленого тиском роликів-електродів і деформацією дроту сітки, що сприяє додатковому ущільненню порошку. Пористість порошкового шару привареного на оптимальних режимах становить 2...6 %. Вивчення відкритої пористості спеченого в осередках сітки порошку підтверджує теоретичні висновки щодо характеру розподілу густини по товщині покриття.

4. Металографічними дослідженнями виявлено залежність якості покриттів, що наварюються, від технологічних властивостей металевих порошків, геометричних параметрів сітки та режимів процесу КН. Міцність зчеплення покриттів, наварених на оптимальних режимах, для сталевих деталей становить не менше 155 МПа, а для чавунних не менше 120 МПа. Безперечною перевагою запропонованої технології є можливість формування регульованої гетерогенної структури покриття. Внаслідок різної інтенсивності спрацьовування матеріалу порошку і сітки покриття набуває регулярного рельєфу, що сприяє утриманню мастильного матеріалу і підвищує надійність вузлів тертя за граничного змащування. Лабораторними випробуваннями встановлено, що одержувані композиційні покриття володіють високими

зносостійкими властивостями, що перевищують зносостійкість сталі 45 у 2,5 рази, а чавуну в 1,9 рази.

5. На прикладі відновлення опорних шийок розподільного вала двигуна ЗМЗ-402 проведено розрахунок економічної ефективності впровадження технологій. У результаті застосування розробленої технології досягається економія 5145,81 грн. на одну деталь. Економічний ефект відновлення з урахуванням збільшення довговічності відновлених деталей складає 5410,98 грн.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В.В., Василенко І.Ф., Красота МВ. Теоретичне обґрунтування експлуатаційних властивостей деталей автомобілів, зміцнених композиційними покриттями, методом кластерних компонентів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 3(34). С. 54-65.
2. Василенко І.Ф. Фізичні процеси при формуванні композиційних покриттів контактним наварюванням. Збірник наукових праць КНТУ «Техніка в сільськогосподарському виробництві. галузеве машинобудування, автоматизація». Кіровоград: КНТУ. 2016. Вип. 29. С. 111-117.
3. Денисенко М.І. Підвищення технічного ресурсу і довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. Вип. 5 (36). С. 40-47.
4. Джурка Г.Ф. Полімерні композиційні матеріали. Полтава, 2008. 58 с.
5. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1996. 18с.
6. Економіка підприємства / С.М. Рогач [та ін.]; Нац. Ун-т біоресурсів і природокористування України. К.: КОМПРИНТ, 2015. 391 с.
7. Економіка підприємства: навчальний посіб. для студентів закл. виш. освіти / Н.М. Колпаченко. Ю.А. Сайчук. В.К. Аветісян. В.А. Бантковський. В.Л. Маніло. Харків: Діса плюс, 2019. 277 с.
8. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. 322 с.
9. Константинов С. М., Панов Є. М. Теоретичні основи теплотехніки: підручник. К.: Золоті ворота, 2012. 592 с.
10. Лабай В. Й. Тепломасообмін. Л.: Тріада Плюс, 1998. 260 с.

11. [Лауш П.В.], Василенко І.Ф., Лесюк Т.П. та ін. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки. Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2007. Ч.І. 416 с

12. [Лауш П.В.], Василенко І.Ф., Лесюк Т.П. та ін. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки. Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2007. Ч.ІІ. 444 с.

13. Лівіцький О.М. Вдосконалення технічного сервісу автотракторної техніки в умовах агропромислового виробництва. Центральнотуристський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. Вип. 4 (35). С. 189-197.

14. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів за освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / уклад.: Д.В. Голуб, С.О. Магопець, В.В. Аулін, О.В. Бевз, М.В. Красота, А.С. Максименко; під заг. редакцією к.т.н., доц. Магопця С.О. М-во освіти і науки Укр., Центральнотурист. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 46 с.

15. Основи трібології: Підручник / А.М. Антипенко. О.М. Бєлас. В .А. Войтов та ін. / За ред. Войтов В.А. Харків: ХНТУСГ, 2008. 342с.

16. Ремонт машин та обладнання: підручник / О.І. Сідашенко. О.А. Науменко. Т.С. Скобло. О.В. Тіхонов та інш.; за ред. О.І. Сідашенка. за ред. О.А. Науменка: ХНТУСГ. 2-ге вид., перероб. і доп. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.

17. Федорченко І.М.. Пугіна Л.І. Композиційні спечені антифрикційні матеріали. К.: Наукова думка, 1980. 403 с.

18. Чабаний В.Я., Магопець С.О., Мажейка О.Й. Ремонт автомобілів. Кіровоград: Центральнотуристське видавництво, 2007. 392 с.

19. Черновол М.І.. Сало В.М.. Мачок Ю.В. та ін. Забезпечення довговічності робочих органів загортаючих систем посівних машин / М.І. Черновол. В.М. Сало. Ю.В. Мачок. П.Г. Лузан. С.В. Мартиненко. Кіровоград СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. 148 с

20. Черновол М.І., Шепеленко І.В. Системний підхід до формування показників якості відновлених деталей. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2023. Вип. 7 (38). С. 30-36.