



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Оцінка ефективності застосування газополуменового наплавлення
для нанесення композиційних покриттів на деталі
сільськогосподарської техніки у ФГ «Гончаренко» Знам'янського
району Кіровоградської області»

Виконав:

магістрант групи АІ(ТС)-22М _____ Сергій КОЛІСНИК
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

К.Т.Н., доцент _____ Іван ВАСИЛЕНКО
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.Т.Н., доцент _____ 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) рівень вищої освіти

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСКУ РОБОТУ**

Колісника Сергія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Оцінка ефективності застосування газополуменового наплавлення для нанесення композиційних покриттів на деталі сільськогосподарської техніки у ФГ «Гончаренко» Знам'янського району Кіровоградської області»

керівник роботи Василенко Іван Федорович, _____ ДОЦЕНТ
(прізвище, ім'я, по батькові) (науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» 08 2023 року №42-13

2. Строк подання здобувачем роботи «22» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Матеріали науково-дослідної практики.

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

4.1 Розділ 1. Аналіз виробничої діяльності підприємства. Актуальність підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин нанесенням зносостійких покриттів газополуменовим наплавленням. Аналіз існуючих досліджень за темою роботи. Висновки по розділу 1.

4.2 Розділ 2. Теоретичний аналіз газополуменового наплавлення кераміко-металевих покриттів. Висновки по розділу 2.

4.3 Розділ 3. Вибір та обґрунтування порошків для ГПН КП з урахуванням їхніх технологічних характеристик. Дослідження швидкісних та температурних параметрів газопорошкового струменя. Дослідження структури та складу КП. Висновки по розділу 3.

4.4 Розділ 4. Розробка технологічного процесу та визначення економічної

ефективності ГПН КП на стрілчаті лапи культиваторів. Висновки по розділу 4.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: Тема, мета, об'єкт, предмет і звдання дослідження. Схема та вигляд пальника для ГПН. Графіки залежності температур розігріву та швидкості польоту частинок по дистанції наплавлення. Мікроструктура наплавлених КП різного складу та вигляд частинок наповнювача. Сканеграми розподілу елементів. Результати якісного аналізу покриттів. Діаграми мікротвердості КП. Установка для випробовування та графіки зносостійкості наплавлених покриттів. Ескізи лап культиваторів. Схема техпроцесу та показники економічної ефективності відновлення стрілчатих лап культиваторів ГПН КП.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Обґрунтування напряму наукових досліджень	10.11.2023	
2	Розділ 2. Теоретичний аналіз газополуменового наплавлення кераміко-металевих покриттів	24.11.2023	
3	Розділ 3. Експериментальні дослідження процесу гаполуменового наплавлення кераміко-металевих покриттів, їхні структури та властивості	05.12.2023	
4	Розділ 4. Розробка технологічного процесу відновлення та зміцнення деталей робочих органів с/г машин ГПН КП. Техніко-економічна ефективність розробленої технології.	12.12.2023	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	22.12.2023	

Магістрант _____
(підпис)

Колісник С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Іван ВАСИЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена зміцненню деталей сільськогосподарських машин газопорошковим наплавленням зносостійких покриттів.

Метою представленої роботи є підвищення довговічності відновлених деталей машин газополуменевим наплавленням композиційних керамікометалевих покриттів.

Об'єктом дослідження є процес газопорошкового наплавлення зносостійких покриттів поверхонь деталей сільськогосподарської техніки.

Предмет дослідження – властивості композиційних покриттів та їх використання для підвищення довговічності відновлених деталей.

Для досягнення мети в роботі визначені такі завдання:

1. Обґрунтувати вибір порошкоподібних матеріалів на залізній основі для створення композиційних покриттів, що працюють в умовах абразивного зношування.
2. Дослідити процес формування покриттів системи метал-кераміка із газопорошкового струменя при газополуменевому наплавленні.
3. Дослідити структуру та основні фізико-механічні властивості композиційних покриттів, отриманих газополуменевим наплавленням.
4. Провести техніко-економічну оцінку відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки газополуменевим наплавленням композиційних покриттів.

На підставі аналізу літературних джерел зроблено висновок, що в умовах жорсткого абразивного зношування, якому піддаються деталі сільськогосподарських (особливо ґрунтообробних) машин, доцільно застосовувати композиційні керамікометалеві матеріали у вигляді покриттів. Для нанесення композиційних покриттів було обрано газополуменеве наплавлення як один з найдоступніших способів.

Проведено теоретичний аналіз газополуменевого наплавлення керамікометалевих покриттів. У рамках гідродинамічної моделі трифазного газопорошкового потоку при ГПН здійснено розрахунок швидкостей і температур порошкових частинок, показано, що для плакованих частинок кераміки зменшується мінімальна швидкість їх занурення в розплав покриття.

Експериментальні дослідження керамікометалевих покриттів дозволили встановити, що більш сприятлива мікроструктура покриттів з точки зору кількості та рівномірності розподілу наповнювача в матриці властива для композиційних покриттів, отриманих із суміші з плакованою керамікою.

На основі вивчення структури та властивостей композиційних покриттів визначено оптимальні склади порошкових сумішей для газополуменевого наплавлення покриттів, що працюють в умовах абразивного зношування.

Розраховано економічний ефект при використанні розробленого технологічного процесу газополуменевого наплавлення композиційних покриттів на стрілчаті лапи культиваторів.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 58 сторінок тексту, 18 рисунків, 5 таблиць.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1 Аналіз виробничої діяльності підприємства	7
1.2 Аналіз існуючих досліджень за темою роботи	8
1.2.1 Газополуменеве наплавлення як метод підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки	8
1.2.2 Вихідні матеріали для наплавлення композиційних покриттів	9
1.3 Висновки, мета, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання досліджень	16
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПЛАВЛЕННЯ КЕРАМІКОМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ	18
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПЛАВЛЕННЯ КЕРАМІКОМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ, ЇХНІ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ	28
3.1 Вибір та обґрунтування порошків для ГПН КП, їхні технологічні характеристики	28
3.2. Дослідження швидкісних та температурних параметрів газопорошкового струменя	32
3.3 Дослідження структури та складу КП	34
3.4. Дослідження основних властивостей КП, одержаних ГПН	41
3.4.1. Мікротвердість	41
3.4.2 Внутрішні напруження	44
3.4.3 Абразивна зносостійкість	45
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РОБОЧИХ ОРГАНІВ С/Г МАШИН ГПН КП. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	49
4.1 Обґрунтування вибору лапи культиватора як основний об'єкт для ГПН КП	49
4.2 Технологічний процес і техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування розробленої технології	50
ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

ВСТУП

24 лютого 2022 року Росія розпочала повномасштабне вторгнення в Україну. Цей напад був неспровокованим і невинуватим, і він призвів до масштабної енергетичної кризи. Вторгнення Росії пошкодило або знищило значну частину української енергетичної інфраструктури. Це призвело до перерв у постачанні електроенергії для домогосподарств і підприємств. Українські уряд працює над відновленням енергетичної інфраструктури. Однак цей процес займе час і вимагає великих коштів.

Енергетична криза, спричинена війною, змушує шукати методи обробки деталей, які споживають менше електроенергії. Одним з таких методів є газополуменеве наплавлення композиційних покриттів (КП). Цей метод підвищення довговічності деталей не вимагає великих витрат електроенергії, оскільки вона споживається лише для освітлення робочого місця та вентиляційної витяжки.

Дана робота присвячена дослідженню та оцінці використання композиційних покриттів, одержаних газополуменевим наплавлення в умовах фермерського господарства «Гончаренко».

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз виробничої діяльності підприємства

Фермерське господарство «Гончаренко» проводить сільськогосподарську діяльність з серпня 2003 року

Основними напрямками діяльності господарства є вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур, насіння олійних культур. Також підприємство займається вирощуванням овочів і баштанних культур, коренеплодів і бульбоплодів. Підприємство може займатися оптовою торгівлею зерном і кормами для тварин.

З розвитком господарства та ростом машино-тракторного парку виникла необхідність у створенні підрозділу, який займався б технічним обслуговуванням і ремонтом наявної техніки. Це дозволило підтримувати в належному стані сільськогосподарські машини.

Загальний стан сільськогосподарських машин впливає на якість виконуваних ними робіт. Так, несправності ґрунтообробних машин викликають збільшення тягового зусилля, нестійкість машини в процесі обробітку ґрунту; машина може виглибитись, відхилитися від прямолінійного руху, погіршується якість укладки пласта, розкришування ґрунту, зрізання бур'янів і т. ін. Зовнішніми ознаками несправності посівних і посадкових машин є нестабільна норма висіву, пошкодження посівного матеріалу, неякісний загортання насіння, нестійкість машини. Про стан збиральних машин роблять висновок за якістю виконання технологічних процесів. Порушення їх призводить до втрат врожаю (зрізаної маси), пошкодження зерна і коренеплодів, пропуску стебел тощо. При відхиленні параметрів стану механізмів від допустимих значень знижується продуктивність і економність машини.

Основний обсяг робіт по технічному обслуговуванню і ремонту та зберіганню автотракторної техніки виконується її власниками. «У зв'язку з цим навіть в дрібних господарствах необхідно створювати виробничу базу для

дрібного ремонту» [9]. Отже, наявність поста технічного обслуговування та ремонту повністю виправдала покладені на неї сподівання та підтвердила доцільність вкладення грошей у розвиток ремонтної бази.

В умовах, що склалися, через порушення логістичних ланцюжків постачання відчувається дефіцит багатьох запасних частин тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин.

Виходом зі скрутної ситуації може бути відновлення деталей методами зварювальних технологій та ін. Аналіз наявного обладнання показав, що без значних витрат можна розпочати відновлення методами ручного дугового наплавлення та газополуменевого наплавлення.

Зважаючи на енергетичну кризу, в якій перебуває наша країна, та можливі перебої енергопостачання, більш доцільним виглядає використання для відновлення деталей газополуменевого наплавлення.

Отже, тема наукових досліджень є актуальною.

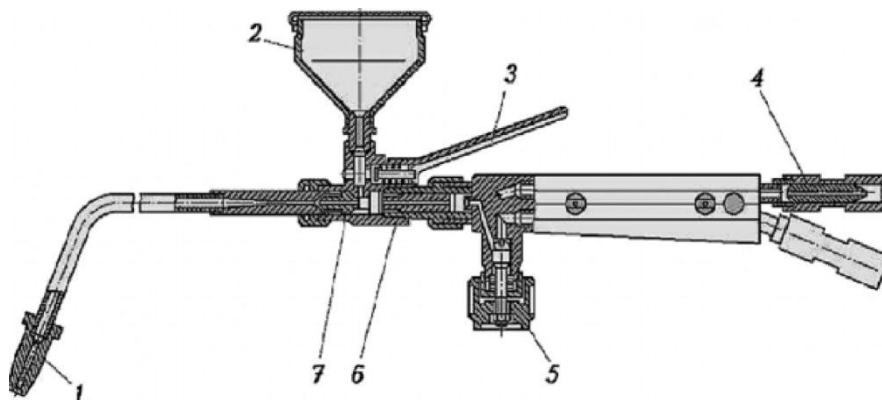
1.2 Аналіз існуючих досліджень за темою роботи

1.2.1 Газополуменеве наплавлення як метод підвищення довговічності деталей сільськогосподарської техніки. Газополуменеве наплавлення (ГПН) є одним з найпростіших і ефективних методів одержання покриттів. Джерело теплової енергії при цьому способі – полум'я, що утворюється в результаті горіння суміші окислювач-горючий газ. Як горючі гази для газового наплавлення застосовують ацетилен (C_2H_2), метан (CH_4), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), водень (H_2) та ін. [3, 20].

Найвища температура полум'я досягається при використанні ацетиленово-кисневих сумішей. Тому для наплавлення та напилення найчастіше застосовують ацетилен технічний. Як присадний матеріал при газовому напавленні використовують дріт, прутки та порошкоподібні матеріали [15].

Порошки можуть заздалегідь наноситись на поверхню деталі й потім оплавлятися газовим полум'ям (наплавлення по шару порошку) або

напилюватись з подальшим чи одночасним оплавленням [3, 10]. Останній варіант газового наплавлення одержав назву газопорошкового наплавлення (рис. 1).



1 – мундштук; 2 – бункер для порошку; 3 – важіль подачі порошку; 4 – штуцер; 5 – вентиль; 6 – інжектори

Рисунок 1.1 – Схема пальника для газопорошкового наплавлення

Для проведення досліджень застосовувався пальник «Євро-Джет» виробництва спільного австро-українського підприємства «Інтерфакел» (рис.1.2.)

1.2.2 Вихідні матеріали для наплавлення композиційних покриттів.

Композиційними матеріалами (КМ) або композитами називають штучно виготовлені матеріали, які складаються з двох і більше компонентів [13].

Завдяки тому, що КМ можна конструювати та одержувати з наперед заданими фізико-механічними характеристиками, вони мають унікальні властивості у порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами.

Визначені основні шість ознак, що характеризують КМ [1, 12]:

склад, форма та розподілення компонентів матеріалу "запроектовані" наперед;

матеріал не зустрічається у природі;

матеріал містить два чи більше компонентів, які розрізняються за своїм хімічним складом і мають у виробі чітко виражену межу;



а)



б)

а – у розібраному вигляді; б – в зборі

Рисунок 1.2 – Пальник для ГПН «Євро –Джет»

властивості матеріалу визначаються кожним з його компонентів, які у відповідності з очікуваним ефектом повинні міститись у матеріалі у достатній кількості (більше деякого критичного вмісту);

матеріал має такі робочі властивості, яких не мають його компоненти окремо;

матеріал є неоднорідним у мікромасштабі та однорідним у макромасштабі.

Багатьма своїми властивостями — міцністю, ударною в'язкістю, границею витривалості тощо — композити значно перевищують традиційні матеріали, завдяки чому потреби суспільства в них і взагалі у нових матеріалах безперервно зростають [15].

Досить часто КМ використовують у вигляді покриттів, що дуже важливо для зміцнення та відновлення деталей машин.

Композиційне покриття (КП) — це покриття, що являє собою КМ [2]. Захисні та відновні покриття — один з найбільш ефективних шляхів ресурсозбереження. Використання їх дозволяє також реалізувати принципово новий підхід до створення конструкційних матеріалів та деталей машин: несуча здатність забезпечується матеріалом основи, а спеціальні властивості поверхні — суцільним чи локальним формуванням шарів покриття.

КП класифікуються за такими основними ознаками: за матеріалом матриці та армуючими елементами, геометрією наповнювачів, структурою та розташуванням компонентів, методами одержання, за призначенням [15].

В залежності від матеріалу матриці всі КП розділяються [19]: на КП з металевою матрицею — металеві композиційні покриття; з полімерною — полімерні композиційні покриття та з керамічною — керамічні композиційні покриття. Матриця надає покриттю монолітність, зв'язує його з основою деталі, забезпечує передачу та перерозподіл навантаження в об'ємі покриття, захищає армуючі елементи від дії зовнішніх факторів. Тип матриці безпосередньо визначає технологію одержання КП, його термічну та корозійну стійкість,

електричні та теплозахисні властивості, старіння та інші найважливіші характеристики покриття та деталі в цілому.

При відновленні деталей сільськогосподарської техніки найбільш ефективними зараз є покриття з різним поєднуванням таких компонентів, як метал-кераміка та метал-полімер. Технічна кераміка знаходить все більше використання у сільськогосподарському машинобудуванні та ремонтному виробництві [5, 14] при виготовленні деталей тракторів і автомобілів, робочих органів сільськогосподарських машин, для нанесення у вигляді покриттів. Керамічні матеріали характеризуються високими рівнями температур плавлення, міцності на стиск, яка зберігається при досить високих температурах, та стійкості до окислення.

В залежності від призначення деталі, умов її роботи до матеріалу покриття висувається низка вимог, часто суперечливих. Так, на основі сучасної теорії тертя та зносу, численних експериментальних досліджень запропоновані такі принципи проектування зносостійких матеріалів [11, 15].

1. Структура матеріалу повинна бути гетерогенною та містити тверді зерна, рівномірно розподілені у пружнопластичній матриці. У цьому випадку прикладене навантаження діє в основному на включення твердої фази, а в матриці відбувається релаксація напружень.

2. Структура матеріалу не повинна істотно змінюватись у процесі тертя або перебудовуватись у структуру, вигідну з точки зору тертя та зносу.

3. Поверхневий шар матеріалів, що труться, повинен мати меншу міцність, аніж нижчі шари (правило позитивного градієнту).

4. Поверхневий шар не повинен наклепуватись у процесі тертя.

5. Під впливом оточуючого середовища у матеріалі не повинні відбуватись структурні зміни, погіршення характеристик міцності та пластичності.

6. До складу матеріалу рекомендується вводити тверді мастила.

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

8. Протизадирні добавки не повинні значно знижувати міцність матеріалу.

9. Коефіцієнт тертя твердих включень між собою та з матеріалом матриці має бути мінімальним.

Виходячи з цих вимог, як зносостійкі матеріали (чи їх основа) використовуються перш за все особливо тверді матеріали: алмаз та технічна кераміка – оксид алюмінію, металоподібні та неметалеві тугоплавкі з'єднання (карбіди, борида, нітриди) [11]. Поряд з високою твердістю ці матеріали мають високу крихкість. Зниження крихкості та підвищення пластичності й міцності досягається зв'язуванням зерен тугоплавких з'єднань за допомогою в'язкої металевої матриці.

Вимоги до структури та властивостей зносостійких покриттів можуть ще більше конкретизуватись в залежності від умов тертя та виду зношування (абразивне, ерозійне тощо).

Так, виходячи з умов абразивного зношування, до структури зносостійкого КП висувають такі вимоги: твердість часток зміцнюючої фази повинна бути вищою твердості абразиву; відстань між частками зміцнюючої фази повинна бути меншою розміру часток абразиву; когезійний зв'язок між компонентами КП має бути високим [1].

Для виготовлення матриць зносостійких КП найчастіше використовують залізо, нікель, кобальт та їхні сплави. Зносостійкими наповнювачами у металевих матрицях можуть виступати різні керамічні матеріали: карбіди, борида, оксиди, нітриди та ін. Кожний зі вказаних класів матеріалів має свої переваги та недоліки. З точки зору рівня властивостей і доступності більш перспективними матеріалами наповнювачів зносостійких КП є карбіди та оксиди [19].

Утворення кераміко-металевих КП на поверхні деталей машин ГПН може відбуватися за такими основними технологічними варіантами [9]: послідовне нанесення окремих компонентів КП з різних класів матеріалів; нанесення КП з

механічних сумішей металевих та керамічних порошків; використання заздалегідь сформованих композиційних порошків як вихідні.

При послідовному нанесенні металевих та керамічних компонентів КП на поверхні деталей можуть використовуватись такі групи порошків [16].

Порошки з самофлюсівних сплавів на нікелевій, нікель-хромовій і кобальтовій основах мають комплекс цінних експлуатаційних властивостей: зносостійкість, ерозійну та корозійну стійкість. Задовільно протистоять високотемпературному окисленню. Недоліки - висока вартість і дефіцитність основних компонентів сплавів.

З метою зниження вартості порошків для наплавлення ведеться робота зі створення та вдосконалення дешевших порошкових матеріалів на залізній основі.

За своїм складом та призначенням вони поділяються на кілька груп [10]: порошки вуглецевих та легованих сталей; високовуглецеві леговані сплави (чавуни); жаростійкі сплави; самофлюсівні сплави; механічні суміші порошків; композиційні порошки.

Використання перших трьох груп порошків на залізній основі ГПН дуже проблематичне через недостатню температуру газового полум'я.

Найбільший інтерес для отримання високоякісних та відносно дешевих зносостійких покриттів за допомогою ГПН викликають порошки системи Fe-Cr-B-Si Це пов'язано з можливістю отримання на основі зазначеної системи легування самофлюсівних порошків.

Широке застосування для отримання порошкових покриттів знаходять механічні суміші порошків завдяки простоті та невисокій вартості їх приготування. Механічні суміші не піддаються стандартизації, тому їх склади зазвичай підбираються дослідним шляхом. Особливих способів виготовлення такі суміші не вимагають. Вони можуть перемішуватись на будь-якому устаткуванні або спікатися з подальшим дробленням.

Проте використання механічних сумішей порошків має ряд істотних недоліків, головними з яких є сегрегація компонентів при змішуванні,

транспортуванні їх з дозуючих пристроїв, а також нанесення. Сегрегація компонентів сумішей призводить до нерівномірності структури покриття, збільшення пористості, зниження міцності та погіршення експлуатаційних характеристик покриття.

Великим кроком у розвитку технологій нанесення покриттів стало використання композиційних порошків, що є інтегрованими комплексами вихідних компонентів (метал, кераміка, пластмаса) у кожній порошковій частинці [19].

За типом будови розрізняють плаковані та конгломератні частинки. Плакована частинка являє собою вихідну частинку (ядро) одного з матеріалів, на поверхні якої розташовані один або кілька шарів інших матеріалів. Частинка композиційного порошку конгломератного типу сформована з множини вихідних частинок кількох матеріалів.

Найчастіше композиційні порошки – це два варіанти поєднання матеріалів: кераміка (ядро) - метал (оболонка) і метал-метал. Але можливі інші варіанти складів, наприклад, метал (ядро) - полімер (оболонка), метал - кераміка та ін.

На жаль, залізо, в силу його хімічних властивостей, не може застосовуватися як плакувальний елемент для покриття ядер з кераміки та інших матеріалів. При створенні композиційних порошків залізо може виступати як ядро у разі отримання плакованих порошків (відомі залізні порошки з оболонками з нікелю або молібдену [19], або як один з компонентів при утворенні інтегрованих частинок методом конгломерування.

З композиційних порошків на залізній основі найбільш вивченими є порошки Fe-Ni-Al, що являють собою систему, в якій залізний порошок плакується нікелем, а на ядро, що утворилося, наносяться шляхом конгломерування частинки дисперсного алюмінію [11]. Оптимальним складом такого порошку, який застосовувався для відновлення нерухомих сполук, був, %: Ni - 40; Al – 9; Fe – решта.

Найчастіше залізо або ферохром [19] плакуються нікелем електролітичним способом, при цьому вміст нікелю в композиційній частинці (мас. %) може сягати 50%. Іноді після плакування порошки піддаються розмелюванню у вібромліні [18].

При проведенні більшості способів наплавлення відбувається суттєве розчинення деяких видів наповнювачів КП, особливо карбідів. Це явище може бути корисним з точки зору легування наплавленого металу, проте склад матриці важко регулювати таким чином. При газовому наплавленні розчинення карбідів відбувається менше, ніж при дугових способах наплавлення [18] що є наслідком впливу високих температур дуги.

Можна намітити кілька шляхів зменшення розчинення армуючих зерен у сплав-матриці. Один з них – плакування частинок. Як зазначається в роботі [2, 19], для отримання покриттів з найбільш високими експлуатаційними властивостями необхідно, щоб тугоплавкі частинки лише частково розчинялися у сполучному сплаві, добре змочувалися, не дисоціювали та утворювали з матрицею когерентно зв'язані фази.

Багато властивостей КП визначаються кількістю наповнювача в матриці. Наприклад, найбільш висока зносостійкість системи сплав ПГ-СРЗ- Cr_3C_2 спостерігалася при вмісті хрому карбиду 50% [2]. Подальше збільшення наповнювача вело до підвищення зносу, що на думку автора пов'язано зі слабким когезійним зв'язком у системі карбід-метал.

На сьогоднішній властивості КП, отримані ГПН матеріалів на залізній основі є недостатньо дослідженими.

1.3 Висновки, мета, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання досліджень

У результаті проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

1. Одним із напрямів підвищення довговічності деталей машин при їх відновленні та зміцненні є застосування композиційних покриттів. зокрема кераміко-металевих покриттів. Розроблено досить велику кількість методів

отримання таких покриттів, у тому числі методом наплавлення та газотермічного напилення.

2. Найбільш простим та ефективним способом формування КП на поверхні деталей машин є газополуменеве наплавлення. Існуючий рівень розробок у галузі обладнання для ГПН дозволяє наносити покриття з різних матеріалів, у тому числі тугоплавких.

3. Питання ГПН КП на залізній основі мало досліджено. Потребують дослідження міжфазні взаємодії компонентів шару, що наплавляється, структура одержуваних покриттів, їх основні експлуатаційні властивості.

Мета дослідження – підвищення довговічності відновлених деталей машин газополуменевим наплавленням композиційних керамікометалевих покриттів.

Об'єктом дослідження є процес газопорошкового наплавлення зносостійких покриттів поверхонь деталей сільськогосподарської техніки.

Предмет дослідження – властивості композиційних покриттів та їх використання для підвищення довговічності відновлених деталей.

Для досягнення мети дослідження в роботі визначені такі завдання:

1. Обґрунтувати вибір порошкоподібних матеріалів на залізній основі для створення КП, що працюють в умовах абразивного зношування.
2. Дослідити процес формування покриттів системи метал-кераміка із газопорошкового струменя при ГПН.
3. Дослідити структуру та основні фізико-механічні властивості КП, отриманих ГПН.
4. Провести техніко-економічну оцінку відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки ГПН КП.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПЛАВЛЕННЯ КЕРАМІКОМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ

Типовий процес ГПН, незважаючи на його простоту, складається з декількох послідовно виконуваних етапів (прийомів): розігрів наплавлюваної поверхні газовим полум'ям пальника без подачі порошку, подача порошку на розігріту поверхню, оплавлення напиленого покриття газовим полум'ям, напилення наступної порції порошкового матеріалу та знову оплавлення покриття. Кожен із зазначених етапів ГПН може бути предметом теоретичного аналізу. У цій теоретичній главі ми розглядаємо лише один етап ГПН – напилення порошкового матеріалу на поверхню деталі.

Аналізуючи етап напилення порошку, можна констатувати, що він також складається з декількох основних підетапів: подача порошку в газовий потік, нагрівання та розгін частинок у потоці, дотик і затримання частинок, що наплавляються, на поверхні деталі, тобто. формування покриття. Розглядаючи останню стадію наплавлення – зіткнення і затримання частинок, що наплавляються, на поверхні, слід визнати, що умови цієї стадії для різних порцій частинок неоднакові. Дійсно, одна частина газопорошкового потоку зустрічається з твердою розігрітою поверхнею деталі, а інша з рідкою ванною розплавленого покриття, наплавленого раніше.

Таким чином, процес ГПН включає в себе «стартові» операції (розігрів деталі та напилення на непокриту поверхню) та наступні операції, безпосередньо пов'язані з формуванням покриття (оплавлення напиленого шару та напилення порошку як у рідку ванну покриття, так і на нову ділянку твердої непокритої поверхні).

У зв'язку з тим, що мінімальна товщина покриття при відновленні деталі ГПН зазвичай не менше 0,5-1 мм, для формування необхідної кінцевої товщини покриття потрібно кілька шарів (проходів), стадія напилення порошкових частинок у рідку ванну покриття є основною типовою стадією ГПН.

Таким чином, у нашому випадку предметом теоретичного аналізу ГПН кераміко-металевого покриття обраний процес наплавлення порошкової механічної суміші, що складається з металевих і керамічних частинок у рідку ванну покриття.

Для оцінки швидкостей газу та частинок порошку в терморозпилювальному пальнику в умовах газопорошкового наплавлення використана гідродинамічна модель газополум'яного нанесення покриттів [6].

У цій моделі використовується теорія затопленого газопорошкового струменя (рис. 2.1). На рисунку ОА – початкова ділянка струменя, причому заштрихована частина – область так званого ядра; АВ – основна ділянка. На ділянці ОА передбачається ламінарний рух потоку (профіль швидкостей газу W_1 також показаний на рис.2.1). На основній ділянці маємо турбулізований струмінь з певним законом розподілу швидкості W_1 по поперечній координаті $0 \leq r \leq R$.

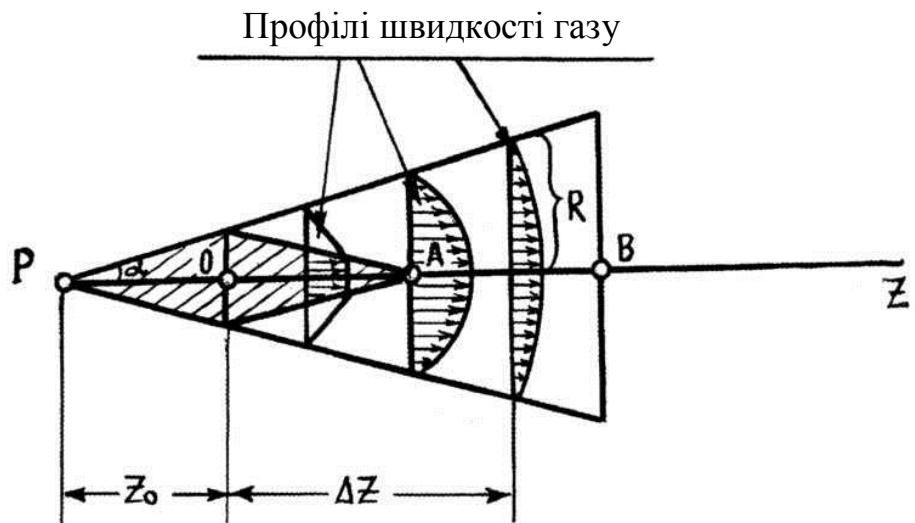


Рисунок 2.1 – Структура газополуменевого потоку в газовому пальнику

Розглянемо газову динаміку трифазного потоку: газ+частинки металу+частинки кераміки. Вважаємо, що в області початкової ділянки частинки досягають максимальної швидкості та температури. Потік на ділянці ОА передбачається одномірним і всі характерні величини залежать від

координати z , відрахованої від полюса струменя P (рис.2.1.). При цьому координата зрізу сопла – z_0 .

Тверда фаза в потоці може бути представлена або керамікою та порошком на основі заліза, або керамічними частинками, плакованими нікелем, і тим самим залізним порошком.

Уведемо позначення:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta V} \text{ – об'ємна доля газу в потоці,} \quad (2.1)$$

$$\varphi_2 = \frac{\Delta V_2}{\Delta V} \text{ – об'ємна доля твердої фази,} \quad (2.2)$$

причому маємо: $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$;

$$\varphi_2 = \frac{\Delta V_{21}}{\Delta V} + \frac{\Delta V_{22}}{\Delta V} = \varphi_{21} + \varphi_{22} , \quad (2.3)$$

де φ_{21} – об'ємна доля «чистої» кераміки або композиційних частинок,

φ_{22} – об'ємна доля металевого порошку на основі заліза в потоці,

ΔV – елемент об'єму потоку;

ΔV_i ($i=1,2$) – елементи об'єму відповідно газу та твердої фази.

Можна записати величини φ_{21} та φ_{22} у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{21} &= \frac{\Delta V_{21}}{\Delta V_2} \cdot \frac{\Delta V_2}{\Delta V} = f_1 \varphi_2, \\ \varphi_{22} &= \frac{\Delta V_{22}}{\Delta V_2} \cdot \frac{\Delta V_2}{\Delta V} = f_2 \varphi_2, \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Тут величини f_1 та f_2 – об'ємні долі кераміки та металевого порошку в об'ємі ΔV твердої фази в потоці, причому $f_1 + f_2 = 1$.

Можна прийняти $\varphi_1 \gg \varphi_2$, тобто $\varphi_1 \approx 1$.

Густина трифазного середовища ρ :

$$\rho = \rho_1 \varphi_1 + (\rho_2 + \rho_3) \varphi_2 , \quad (2.5)$$

де ρ_1 – густина газу; ρ_2 – густина керамічної фази; ρ_3 – густина металевої фази.

Масові концентрації відповідно рівні:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{\Delta m_1}{\Delta m} = \frac{\rho_1 \cdot \varphi_1}{\rho}, & x_2 &= \frac{\Delta m_2}{\Delta m} = \frac{\rho_2 \cdot \varphi_{21}}{\rho}, \\ x_3 &= \frac{\Delta m_3}{\Delta m} = \frac{\rho_3 \cdot \varphi_{22}}{\rho}, & x_1 + x_2 + x_3 &= \frac{\rho_1 \cdot \varphi_1}{\rho} + \frac{(\rho_2 + \rho_3) \cdot \varphi_2}{\rho} = \end{aligned} \quad (2.6)$$

де Δm_1 , Δm_2 та Δm_3 – маси газу, керамічної та металеві компоненти потоку.

Рівняння безперервності трифазного потоку можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} g_1 &= \rho_1 \varphi_1 S W_1, \\ g_2 &= \rho_2 \varphi_{21} S W_{21}, \\ g_3 &= \rho_3 \varphi_{22} S W_{22}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

де g_1 , g_2 , g_3 – масові витрати газу, керамічного та металевих порошків;
 $W_{2\alpha}$ – швидкості частинок твердої фази ($\alpha=1,2$); S – площа поперечного перерізу потоку.

Поєднуючи рівняння (2.7), маємо

$$g = g_1 + g_2 + g_3 = (x_1 W_1 + x_2 W_{21} + x_3 W_{22}) \cdot S \rho = \rho W S, \quad (2.8)$$

де $W = x_1 W_1 + x_2 W_{21} + x_3 W_{22}$ – швидкість центра мас елемента об'єму трифазного потоку.

До наведених вище рівнянь приєднаємо рівняння стану газу:

$$\rho_1 = \frac{P_1}{R_1 T_1}, \quad (2.9)$$

де $R_1 = \frac{8.31 \cdot 10^3}{\mu_1}$; P_1 , T_1 , μ_1 – відповідно тиск, температура та молекулярна маса газу.

Для твердої дисперсної фази $\rho_T = \text{const}$, тобто $\rho_2 = \text{const}$ і $\rho_3 = \text{const}$. Розглянемо рівняння руху фаз, тобто газу ($i=1$) та частинок ($i=2, 3$).

В області прискорення частинок за рахунок взаємодії їх з газом можна записати рівняння руху частинок у вигляді:

$$\frac{dW_{2\alpha}}{dt} = 0,75C_z \frac{\rho_1}{\rho_T} \frac{(W_1 - W_{2\alpha})^2}{d_{2\alpha}}, \quad (2.10)$$

де $d_{2\alpha}=2r_{2\alpha}$ – діаметр частинок порошку, прийнятих сферичними; C_z – коефіцієнт опору; ρ_T – густина твердої фази (ρ_2 або ρ_3).

При складанні рівняння руху (2.10) знехтували приєднаною масою газу, оскільки $\rho_1 \ll \rho_T$, та взаємодією частинок між собою. Крім того, рівняння (2.10) характеризує стаціонарний потік при $\frac{\partial W_{2\alpha}}{\partial t}=0$. Виходячи з цього, можна записати:

$$\frac{dW_{2\alpha}}{dt} = W_{2\alpha} \frac{\partial W_{2\alpha}}{\partial z} \quad (2.11)$$

Рівняння руху для газу ($i=1$) з припущенням, що в'язкісні ефекти проявляються лише в тонких примежових шарах, має вигляд:

$$W_1 \frac{\partial W_1}{\partial z} \approx - \frac{1}{\rho_1 \phi_1} \frac{\partial(\phi_1 \rho_1)}{\partial z} - \frac{x_2}{x_1} W_{21} \frac{\partial W_{21}}{\partial z} - \frac{x_3}{x_1} W_{22} \frac{\partial W_{22}}{\partial z}, \quad (2.12)$$

де 2-й і 3-й доданки праворуч враховують взаємодію потоку газу з частинками.

На початковій ділянці потоку, коли секундні витрати фаз постійні, тобто $g_1=\text{const}$, $g_2=\text{const}$, $g_3=\text{const}$, маємо відношення

$$\tilde{x}_{23} = \frac{g_2}{g_3} = \frac{\rho_2 f_{10} W_{210}}{\rho_3 f_{20} W_{220}} = \frac{\rho_2 f_1 W_{21}}{\rho_3 f_2 W_{22}} = \text{const}. \quad (2.13)$$

З (2.13) витікає:

$$W_{22} = \frac{\rho_2}{\rho_3} \frac{f_1}{f_2} \tilde{x}_{32} W_{21}, \text{ где } \tilde{x}_{32} = \frac{g_3}{g_2}. \quad (2.14)$$

Зазначимо, що прийнявши $W_{220}=W_{210}=W_{20}^0$ для суміші порошку в каналі за бункером, маємо:

$$\tilde{x}_{23} = \frac{\rho_2}{\rho_3} \frac{f_{10}^0}{f_{20}^0}. \quad (2.15)$$

З урахуванням наведених тут співвідношень можна записати таку систему рівнянь для одномірного потоку з трьома фазами:

$$\left. \begin{aligned} W_{21} \frac{\partial W_{21}}{\partial z} &= 0,75 C_{z2} \frac{\rho_1 (W_1 - W_{21})^2}{\rho_2 d_2}, \\ W_{22} \frac{\partial W_{22}}{\partial z} &= 0,75 C_{z3} \frac{\rho_1 (W_1 - W_{22})^2}{\rho_3 d_3}, \\ \frac{\partial W_1}{\partial z} + \tilde{x}_{21} \frac{\partial W_{21}}{\partial z} + \tilde{x}_{31} \frac{\partial W_{22}}{\partial z} + \frac{1}{\rho_1 W_1} \frac{\partial P}{\partial z} &\approx 0, \\ \frac{W_1^2 - W_{10}^2}{2} + \tilde{x}_{21} \frac{W_{21}^2 - W_{210}^2}{2} + \tilde{x}_{31} \frac{W_{22}^2 - W_{220}^2}{2} &= \\ i_{10} - i_1 + \tilde{x}_{21}(i_{20} - i_2) + \tilde{x}_{31}(i_{30} - i_3) \end{aligned} \right\}, \quad (2.16)$$

$$\text{де } \tilde{x}_{21} = \frac{g_2}{g_1}, \quad \tilde{x}_{31} = \frac{g_3}{g_1},$$

$$g_1 \approx \text{const}, \quad g_2 = \text{const}, \quad g_3 = \text{const},$$

$$\rho_2 = \text{const}, \quad \rho_3 = \text{const}, \quad \varphi_1 \approx 1, \quad \rho_1 = \frac{P}{RT_1}.$$

Індексом «0» позначені величини, що відносяться до зрізу сопла пальника.

У подальшому вважатимем $W_{21} = W_2$ і $W_{22} = W_3$.

Інтегруючи третє рівняння з (2.16) і вважаючи для газопорошкового струменя $\frac{\partial P}{\partial z} = 0$, маємо:

$$W_1 = W_{10} + \tilde{x}_{21}(W_{20} - W_2) + \tilde{x}_{31}(W_{30} - W_3) = W_{10} + \tilde{\xi}(W_{20} - W_2), \quad (2.17)$$

при цьому

$$\tilde{\xi} = \left(1 + \frac{\rho_2 f_{21}}{\rho_3 f_{22}} \tilde{x}_{32}^2 \right) \tilde{x}_{21}, \quad \frac{\rho_2 f_1}{\rho_3 f_2} \tilde{x}_{32} \approx \text{const}. \quad (2.18)$$

Розглянемо методи розрахунку швидкостей частинок W_2 і газу W_1 в області початкової ділянки потоку. Згідно з теорією затопленого струменя

вздовж осі потоку $P \approx \text{const}$, тому з (2.16) можна вивести рівняння збереження потоку імпульсу:

$$g_1 W_1 + g_2 W_2 + g_3 W_3 = g_1 W_{10} + g_1 W_{20} + g_1 W_{30}, \quad (2.19)$$

або

$$W_1 = W_{10} + \tilde{x}(W_{20} - W_2), \quad (2.20)$$

де $\tilde{x} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{g_2}{g_1}$ при $\tilde{x}_{32} = 0$.

До рівняння (2.19) приєднуємо рівняння (2.10), причому вважаємо, що коефіцієнт опору в діапазоні чисел Рейнольдса $10 \ll R \ll 10^3$ рівний:

$$C_z \approx \frac{13}{\sqrt{R_e}}. \quad (2.21)$$

Розглянувши (2.10), (2.19) та (2.21), знаходимо

$$\frac{W_2 dW_2}{[W_{10} + \tilde{\xi} W_{20} - W_2(1 + \tilde{\xi})]^{3/2}} = A_{12} dz. \quad (2.22)$$

Після інтегрування цього диференціального рівняння, врахувавши, що $\rho_1 \eta_1 = \text{const}$, маємо

$$K_{12}(W_2) - K_{12}(W_{20}) = A_{12}(z - z_0), \quad (2.23)$$

$$\text{где } A_{12} = \frac{9,75 \rho_1^{1/2} \eta_1^{1/2}}{\rho_2 d_2^{3/2}}, \quad (2.24)$$

$$K_{12}(W_2) = \frac{2[2(W_{10} + \tilde{\xi} W_{20}) - (1 + \tilde{\xi})W_2]}{(1 + \tilde{\xi})^2 [W_{10} + \tilde{\xi} W_{20} - W_2(1 + \tilde{\xi})]^{1/2}}, \quad (2.25)$$

Враховуючи сталість величини

$$\frac{\rho_2 f_1}{\rho_3 f_2} \tilde{x}_{32},$$

маємо

$$\frac{f_1}{f_2} \approx \frac{f_{10}}{f_{20}}, \quad (2.26)$$

де f_{10} і f_{20} – значення об’ємних частин компонентів твердої фази в ситуації змішування, коли частинки порошку введені в потік газу. Співвідношення (2.26) носить наближений характер.

Для оціночних наближень замість рівняння (2.22) можна скористатись такою системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{W_2 dW_2}{(\bar{W}_1 - W_2)^{3/2}} &= A_{12} dz, \\ \frac{W_3 dW_3}{(\bar{W}_1 - W_3)^{3/2}} &= A_{13} dz. \end{aligned} \right\}. \quad (2.27)$$

Після інтегрування рівнянь (2.27) у відповідних межах, маємо:

$$\left. \begin{aligned} \left[\frac{2(2\bar{W}_1 - W_2)}{(\bar{W}_1 - W_2)^{1/2}} \right]_{W_{20}}^{W_2} &= A_{12}(z - z_0), \\ \left[\frac{2(2\bar{W}_1 - W_3)}{(\bar{W}_1 - W_3)^{1/2}} \right]_{W_{30}}^{W_3} &= A_{13}(z - z_0). \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

Рівняння (2.25) дозволяє розрахувати швидкість частинок порошку знаючи відстань $\Delta z = z - z_0$ від зрізу сопла, початкову швидкість частинок W_{20} (біля зрізу сопла), початкової швидкості газу W_{10} (біля зрізу сопла), відносну витрату фаз $\tilde{x}$. Відзначимо також можливість, що у випадку, коли $g_1 \neq \text{const}$ і не можна використовувати рівняння збереження потоку імпульсу виду (2.17), можна апроксимувати залежність швидкості газової фази в струмені виразом:

$$W_1 = W_{10} + \kappa_1 \Delta z + \kappa_2 \Delta z^2 + \dots, \quad (2.29)$$

де $\Delta z = z - z_0$

Добра апроксимація спостерігається при

$$\kappa_1 = 0, \kappa_2 = -\kappa_0 < 0, \quad (2.30)$$

до координати z_m , для якої має місце максимум швидкості частинок.

Оскільки рівняння (2.22) не враховує зіткнення частинок у потоці, розглянемо поправку до цього рівняння, обумовлену зіткненнями з розсіянням енергії частинок: введемо силу гальмування f_z , викликану непружними зіткненнями частинок порошку з розсіянням енергії.

$$f_z = \varphi_{21} f_{01z} + \varphi_{22} f_{02z} \quad (2.31)$$

де $\varphi_{21} = f_2 \varphi_2$ и $\varphi_{22} = \varphi_2 f_2$ – об’ємні долі відповідно кераміки та залізного порошку в потоці.

Виходячи з виразів (2.7) знаходимо:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{21} &= \tilde{x}_{21} \frac{W_1}{W_2} \frac{\rho_1}{\rho_2}, \\ \varphi_{22} &= \tilde{x}_{31} \frac{W_1}{W_3} \frac{\rho_1}{\rho_3} = \tilde{x}_{21} \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{f_2}{f_1} \frac{W_1}{W_2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

При обчисленні φ_{22} Було враховане співвідношення (2.14), де $W_{21}=W_2$ і $W_{22}=W_3$. Підставивши (2.32) у (2.31), одержимо

$$f_z = \frac{W_1}{W_3} \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \tilde{x}_{21} f_{01z} + f_{02z} \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{f_2}{f_1} \tilde{x}_{21} \right) = \frac{W_1}{W_2} \frac{\rho_1}{\rho_2} \tilde{x}_{21} f_{01z} \varepsilon_z; \quad \varepsilon_z = 1 + \frac{f_2}{f_1} \frac{f_{02z}}{f_{01z}}. \quad (2.33)$$

Гradient швидкості керамічної (плакованої) частинки при цьому має вигляд:

$$\frac{dW_2}{dz} = A_{l2} \frac{(W_1 - W_2)^{3/2}}{W_2} - B_{l2} \frac{W_1}{W_2^2}, \quad (2.34)$$

де

$$B_{l2} = \frac{6 f_{01z} \varepsilon_z \tilde{x}_{21} \rho_1}{\pi \rho_2^2 d_2^3}. \quad (2.35)$$

Рівняння (2.34) може бути використане й у випадку, коли закон збереження імпульсу (2.19) недостатньо добре виконується. Але при цьому слід використовувати вираз

$$W_1 = W_{10} - \kappa_0 \Delta z^2. \quad (2.36)$$

Висновок:

У рамках гідродинамічної моделі трифазного газопорошкового потоку при ГПН здійснено розрахунок швидкостей порошкових частинок, що дозволяє визначити оптимальну дистанцію для наплавлення кераміко-металевої суміші.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПЛАВЛЕННЯ КЕРАМІКОМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ, ЇХНІ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ

3.1 Вибір та обґрунтування порошків для ГПН КП, їхні технологічні характеристики

Основними критеріями вибору порошків для ГПН зносостійких покриттів були:

- можливість нанесення покриттів газополуменевим пальником;
- висока зносостійкість;
- відносно невисока вартість;
- наявність освоєного виробництва порошків.

Можливість застосування порошкових матеріалів для їх нанесення методом ГПН обмежується двома основними параметрами: температурою плавлення та можливістю самофлюсування. Відповідно до завдань дослідження нам необхідно обмежитися порошками на залізній основі в першу чергу через їх відносно невисоку вартість порівняно з порошковими матеріалами на основі нікелю або кобальту.

Відповідно до методології проектування КП, наступним етапом після вибору матеріалу матриці [17] є вибір наповнювача. Виходячи з умов абразивного зношування до матеріалів зміцнюючої фази зносостійкого КП висувають такі основні вимоги: твердість частинок наповнювача повинна бути вищою за твердість абразиву; високий когезійний зв'язок з матрицею КП.

Таким чином, зносостійкими наповнювачами можуть бути різні керамічні матеріали: карбіди, бори́ди, оксиди, нітриди і т.д. Кожен із зазначених класів матеріалів має свої переваги і недоліки: всі вони мають досить високу твердість, але нітриди дефіцитні, а бори́ди крихкі і по міцності поступаються карбідам. Більш перспективними з точки зору рівня властивостей та доступності є карбіди та оксиди (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Властивості керамічних матеріалів, що застосовуються як наповнювачі зносостійких КП

Речовина	Густина, $\sigma \cdot 10^3$, кг/м ³	Температура плавлення, Т _{пл} , °С	Теплопро- відність λ, Вт/(м·К)	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, α · 10 ⁶ , град ⁻¹	Модуль пружності, Е, ГПа	Мікро- твер- дість, Н _м , МПа	Термодинамічні властивості	
							Стандартна ентальпія, ΔН ₂₉₈ , кДж/моль	Стандартная ентропія, S ₂₉₈ , Дж/(моль·К)
Карбіди								
Cr ₃ C ₂	6,74	1890	20,9	10,0	380	18000	97,812	85,272
TiC	4,93	3250	17,1	8,2	510	31700	209,0	24,740
WC	15,8	3143	45,2	6,1	731	21000	35,112	35,530
Оксиди								
Al ₂ O ₃	3,97	2040	29,3	8,0	372	20700	1675,557	51,020
Cr ₂ 0 ₃	5,1	2300	13,2	9,6	-	29400	1130,436	81,224
TiO ₂	4,2	1840	3,4	10,0	273	6000	941,611	50,283

При виборі матеріалу наповнювача необхідно враховувати питання сумісності його із матрицею КП [17].

Основним джерелом інформації про сумісність матеріалів у конкретних умовах є експеримент. Разом з тим, необхідна первинна інформація про принципову можливість взаємодії компонентів у процесі отримання КП може бути отримана на підставі довідкових даних. У разі використання рідкофазних технологій, якою є ГПН, на перше місце у питанні взаємодії компонентів КП виступають процеси розчинення та змочування керамічних наповнювачів рідким металом матриці. У таблиці 3.2 представлені дані про граничну розчинність карбідів у залізі (оксиди взагалі не розчиняються) та крайові кути змочування оксидів та карбідів.

Карбіди хрому та вольфраму повністю змочуються розплавом заліза, високою змочуваністю вирізняється і карбід титану. Набагато нижче змочування спостерігається у оксидів: Al_2O_3 взагалі не змочується металами групи заліза, TiO_2 та Cr_2O_3 змочуються незначно. Таким чином, використання оксидної кераміки як наповнювача при ГПН КП дуже проблематично.

З карбідів для проведення наших експериментів вибираємо карбід хрому. Цей матеріал знаходить все більше застосування для отримання зносостійких покриттів шляхом наплавлення. Cr_3C_2 менш дефіцитний порівняно з WC або TiC, має меншу вартість, крім того, наряду з високою зносостійкістю має унікальну стійкість проти окислення.

Для зменшення активного розчинення карбідів у матриці у процесі наплавлення застосовували метод плакування керамічних частинок, тобто. використовували композиційні порошки (у наших дослідженнях Cr_3C_2-Ni). Вміст нікелю в композиційній частинці – 20 мас. %.

Крім захисту поверхні карбіду від розчинення плакований шар металу підвищує такі найважливіші технологічні показники порошкових матеріалів, що характеризують їхню здатність до розпилення газополум'яним пальником, як параметр складності плавлення (D) та коефіцієнт акумуляції тепла (b) [4].

Таблиця 3.2 – Деякі характеристики взаємодії наповнювача з залізною матрицею

Матеріал наповнювача	Характеристики по відношенню до заліза			
	Температура, °С	Кут змочування, град	Робота адгезії $W_a \cdot 10^2$, МДж/м ²	Гранична розчинність, % (мол.)
Карбіди				
Cr ₃ C ₂	1490	0	38,0	11,9
TiC	1550	40	31,4	1,1
WC	1490	0	-	4,1
Оксиди				
Al ₂ O ₃	1550	141	4,05	не взаємодіє
Cr ₂ O ₃	1550	75	-	- « -
TiO ₂	1550	72	23,7	- « -

Параметр складності плавлення виражає відношення кількості теплоти, необхідної для розплавлення одиниці об'єму частинки, до часу її перебування в зоні нагрівання. Він характеризує можливість нагрівання матеріалу в газовому струмені до стадії плавлення.

Враховуючи енергетичні можливості газового полум'я, а також теплофізичні властивості матеріалів, можна сказати, що при ГПН можливе ефективне розплавлення порошків, для яких [5]: $T_{пл} < 2003 \text{ K}$; $D < (2,2 \cdot 10^{-10} \text{ кДж}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^{-3})$ і при теплопровідності $\lambda > 20 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Плакування кераміки металом різко підвищує здатність її до розпилення в газовому полум'ї, оскільки у порівнянні з керамікою теплофізичні характеристики нікелю більш сприятливі: $T_{пл} = 1726 \text{ K}$; $\lambda = 67 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $D = 1,551 \cdot 10^{-10} \text{ кДж}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$; $b = 190 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{-0,5}$.

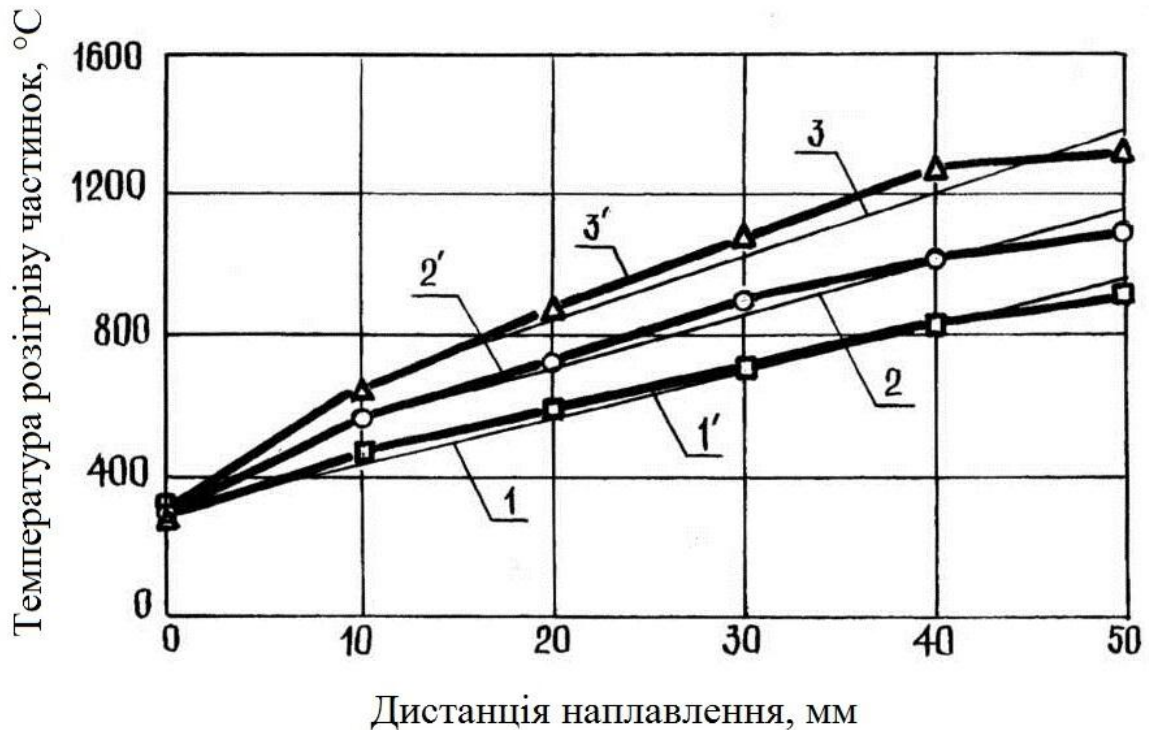
Враховуючи існуючі рекомендації щодо дисперсності порошків, що застосовуються для ГПН, у наших дослідженнях застосовувалися композиційні плаковані порошки марки КХНП-20, розмір частинок яких не перевищував 100 мкм.

3.2. Дослідження швидкісних та температурних параметрів газопорошкового струменя

У зв'язку з тим, що існуючими методами вимірювання швидкості і температури частинок газопорошкового потоку неможливо оцінити інтегральні швидкість і температуру механічної суміші різних порошків, в наших експериментах вимірювалися швидкість польоту і температура поверхні при розпиленні окремих компонентів суміші: порошку матриці, тобто залізного порошку, карбіду хрому та плакованого нікелем карбіду хрому. Розмір частинок всіх трьох порошкових матеріалів брався в межах 63 - 100 мкм.

Встановлено, що максимальну для даного обладнання швидкість польоту – 12 м/с мають найлегші частинки карбіду хрому, а найменшу – частинки залізного порошку (рис. 3.1). Для всіх досліджуваних порошків максимальна швидкість досягнута на дистанції 30 мм від зрізу сопла.

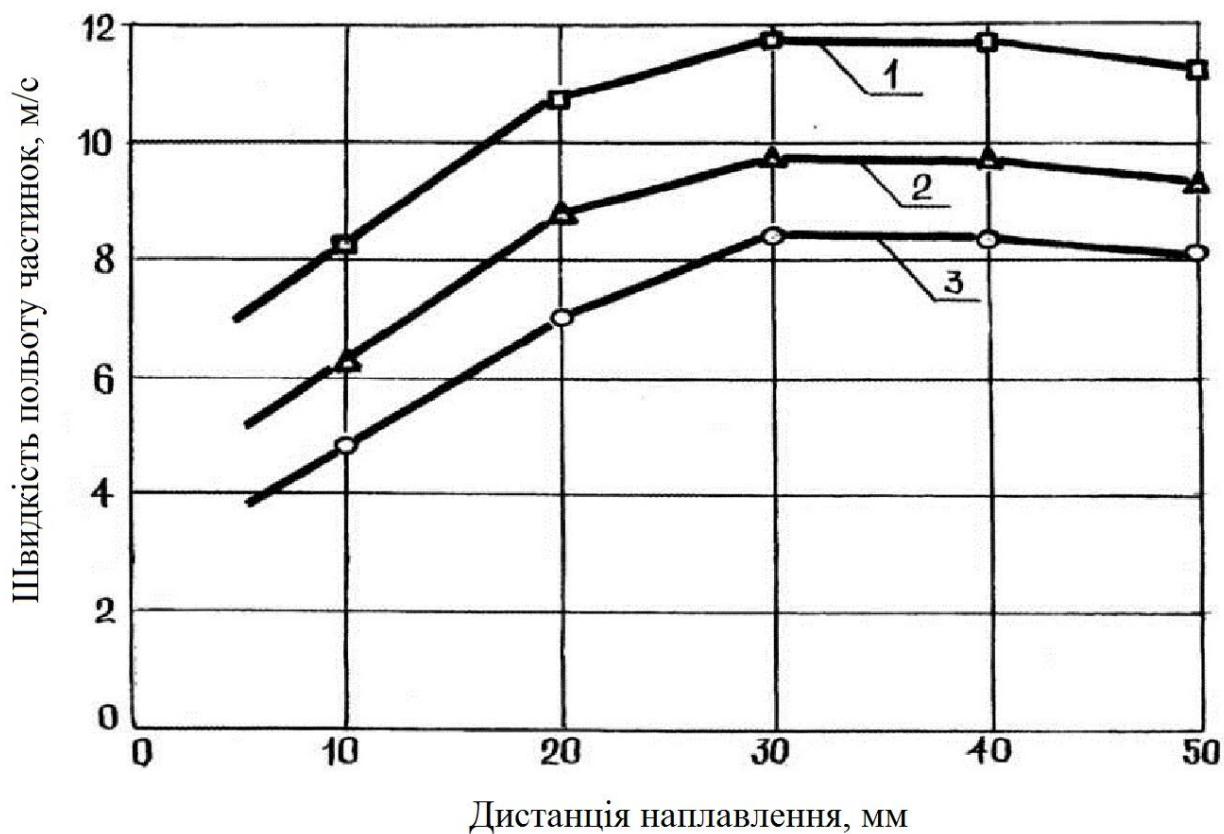
Температурні дослідження показали, що у «практичній» дистанції наплавлення для ГПН, тобто. до 30 мм частинки залізного порошку не встигають нагрітися до температури плавлення ($T_{\text{пл}}=1538^{\circ}\text{C}$) і, можливо, тільки розм'якшуються. Тим більше не розплавляються менш теплопровідні частинки кераміки (рис. 3.1).



1' і 1 – $[\text{Cr}_3\text{C}_2]$; 2' і 2 – $[\text{Cr}_3\text{C}_2+\text{Ni}]$; 3' і 3 – $[\text{Fe}]$

Рисунок 3.1 – Експериментальні (1', 2', 3') і теоретичні (1, 2, 3) залежності температури розігріву частинок порошку по дистанції наплення

У зв'язку з тим, що технологією ГПН передбачається одночасне нагрівання полум'ям пальника не тільки порошкових частинок, що наплавляються, а й підкладки (деталі), можна зробити висновок, що оптимальна дистанція наплення при ГПН лежить в межах 25-30 мм, що відповідає найбільш високим значенням величини поверхневої щільності теплового потоку факела пальника і швидкості польоту частинок (рис. 3.2)



1 – [Cr₃C₂]; 2 – [Cr₃C₂+Ni]; 3 – [Fe].

Рисунок 3.2 – Зміна швидкості польоту частинок по дистанції напилення

3.3 Дослідження структури та складу КП

Мікроструктуру навареного шару вивчали за допомогою мікроскопів МИМ-8М та "Neophot-21" при збільшеннях 100...900.

Для надійності результатів досліджень були виготовлені шліфи з косим зрізом, які полірували за допомогою алмазних паст зернистістю від 30 до 1 мкм або піддавали хімічному поліруванню у травнику такого складу: щавлева кислота – 2,8 г, 30% перекису водню – 4 мл, вода дистильована – 108 мл. Кількість перекису водню і температуру розчину (порядку 290...350 К) змінювали в залежності від виду обробки (травлення чи полірування).

Дослідження структури наварених шарів проводили рентгенівським структурним аналізом. При цьому визначали фазові складові компонентів покриття і міжплощинні відстані решітки матеріалу основи.

Рентгеноструктурні дослідження проводили на установці ДРОН-3, в якій живлення рентгенівської трубки здійснюється від пристрою ИРИС-6. Кутове положення дифракційних максимумів здійснюється гоніометром ГУР-8 з вузлом юстування. Вимірювання кутів проводили з точністю 0,005 град. Для зниження рівня фону використовували плоский кварцовий кристаломонохроматор.

Зйомку дифрактограм проводили в $K_{\alpha}Co$ -випромінюванні при напрузі на трубі 35 кВ і силі струму 40мА, границя вимірювань – 200 імп/с, швидкість переміщення стрічки складала 240мм/год., швидкість обертання лічильника при зніманні з поверхні зразка не перевищувала 0,5 град/хв.

Мікроструктуру покриття досліджували також за допомогою растрової (зі скануванням) електронної мікроскопії (РЕМ).

Основна перевага РЕМ полягає в тому, що вона дозволяє спостерігати топографію твердого тіла з розподіленням і глибиною різкості значно вищими, ніж відповідні показники оптичних приладів. Метод РЕМ дозволяє досліджувати рельєф чи хімічний склад поверхні без попередньої механічної обробки чи травлення.

Дослідження проводили на растровому електронному мікроскопі JSM-840 з рентгенівським мікроаналізатором фірми JEOL.

Установка призначена для вивчення структури і заелементного аналізу металевих і неметалевих матеріалів, а також для одержання композиційного і топографічного зображення у розсіяних електронах.

У роботі кількісний аналіз складу КП визначали за допомогою установки CAMEBAX SX-50, зондом якої служить електронна гармата з вольфрамовою ниткою, що нагрівається струмом високої частоти до температури 3073К.

При проведенні досліджень хімічної мікронеоднорідності в КП записували лінійний розподіл елементів у різних ділянках при проходженні

зонда, діаметр якого складав $10^{-6} \dots 1,5 \cdot 10^{-6}$ м.

РЕМ у сполученні з методом мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) дозволяє виконувати широкий спектр досліджень розподілу елементів КП. Дослідження проводили на установці JXA-840, до складу якої входить власне растровий мікроскоп, енергодисперсійний спектрометр системи "Link" і хвильовий спектрометр.

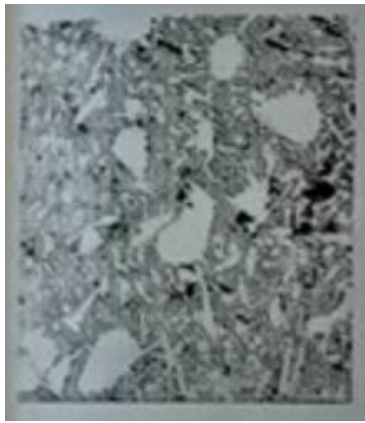
Зразки для дослідження виконувалися товщиною до 10^{-2} м з габаритами, що не перевищували $32 \cdot 10^{-3}$ м. Перед дослідженням зразки були очищені від пилу й інших забруднень. Поверхня досліджуваних зразків підготовлювалась, як і при дослідженнях мікроструктури, тобто заелементний аналіз проводився на травлених зразках.

Особливий інтерес викликає можливість мікроструктурного дослідження полірованих шліфів у режимі поглинених електронів у РЕМ. Цей метод одержання зображення застосовується для великих і дрібнодисперсних утворень, що відрізняються від матриці за атомним номером.

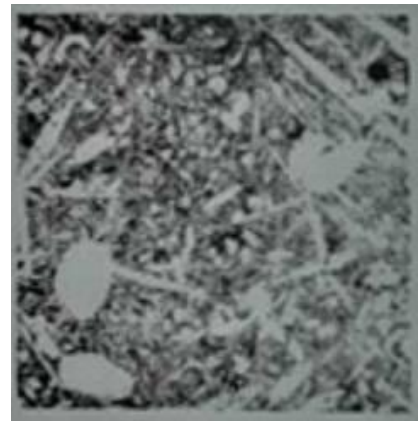
При дослідженні складу та розподілу елементів у навареному матеріалі наочну картину одержували при фотографуванні обраної ділянки КП в характеристичних променях на растровому електронному мікроскопі JSM – T 2000. Результати отримані у вигляді сканеграм.

У КП частки Cr_3C_2 досить рівномірно розподілені по матриці (рис.3.3, а, б). Плаковані частинки карбіду хрому (рис. 3.3, в, г) більше зберігають своє первинне огранювання, тобто. вони менше підрозчиняються в матриці – шар Ni служить бар'єром для розчинення.

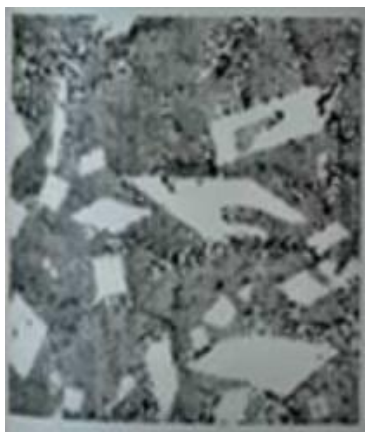
У процесі наплавлення механічних сумішей відбувається взаємодія різних компонентів сумішей між собою та з газовим полум'ям. В результаті формуються покриття певного складу та структури.



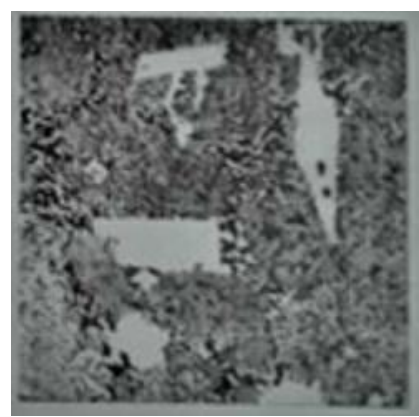
а)



б



в)



г)

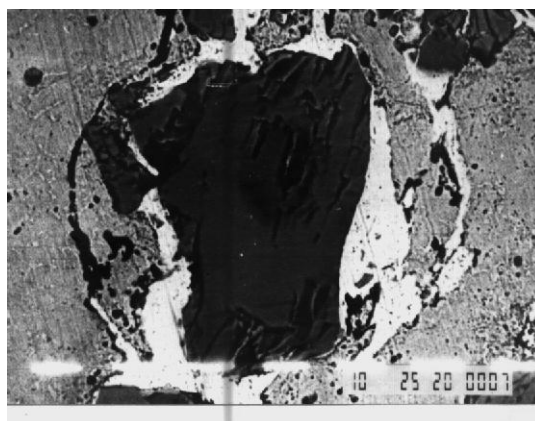
а – порошок залізний+20% Cr_3C_2 ; б – порошок залізний+40% Cr_3C_2 ;
в – порошок залізний+20%КХНП-20; г – порошок залізний+40%КХНП-20.

Рисунок 3.3 – Мікроструктури наплавлених КП різного складу

Частинки КХНП більш рівномірно розподілені за перерізом покриття на відміну від «голих» Cr_3C_2 . У разі плакування частинок підвищується також ефективність їх використання — при одній і тій же концентрації кераміки в бункері пального сформоване КП містить більше наповнювача у разі використання плакованих частинок.

Дослідження мікроструктури (рис.3.4) показує, що розчинення карбідів під час наварювання майже не відбувається. Це пов'язано з порівняно

невеликим термічним впливом, а у випадку використання плакованих карбідів випадків розчинення карбідів ще й захистом від розчинення прошарком ніелю.



x1500

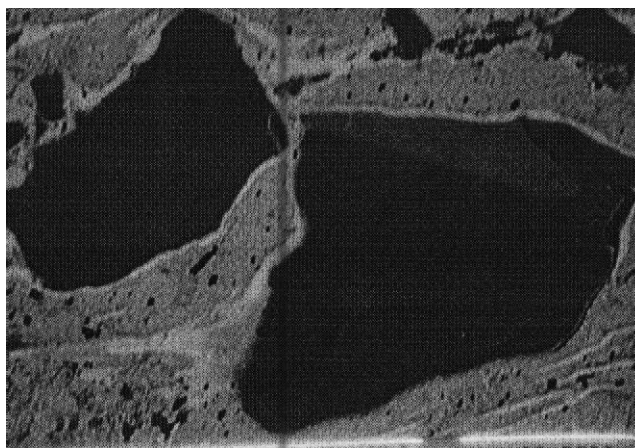
1 – карбід хрому; 2 – нікель; 3 – залізо.

Рисунок 3.4 – Вигляд плакованої нікелем частинки наповнювача у КП

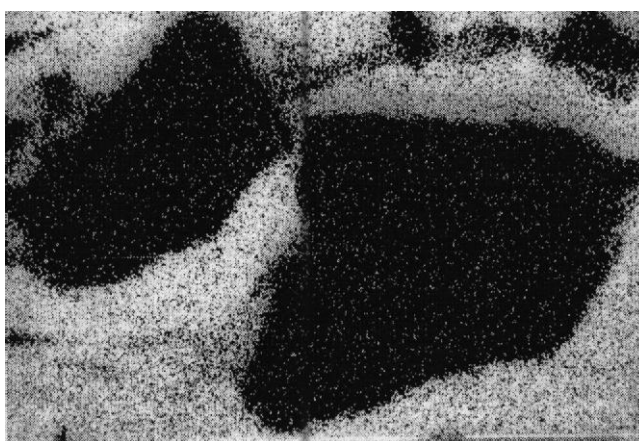
При дослідженні структурної неоднорідності в наплавленому матеріалі досить наочну картину можна одержати при фотографуванні обраної ділянки наплавлення в характеристичних променях досліджуваних елементів. При цьому можливий не тільки якісний, але і кількісний аналіз структурних складових.

Результати досліджень елементного складу КП, проведених з залученням методу растрової електронної мікроскопії (РЕМ) на растровому електронному мікроскопі JSM - T2000, подані у вигляді сканеграм (рисунки 3.5, 3.6). Це дало можливість наочно побачити, що внаслідок дифузійних процесів та термопластичної деформації рівномірність товщини шару плакування нікелем частинок карбіду хрому може порушуватись, і у деяких випадках спостерігається розрив суцільності оболонки (рис. 3.6, г).

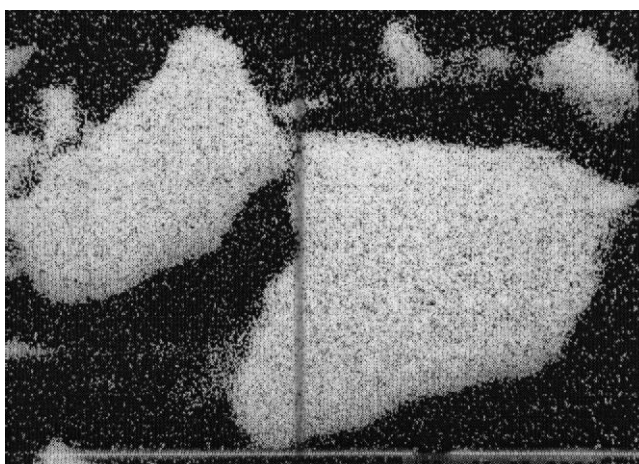
Було встановлено, що фази, які утворюються в КП є продуктами взаємодії компонентів карбіду хрому з частинками порошку заліза (рис. 3.5, в).



а)



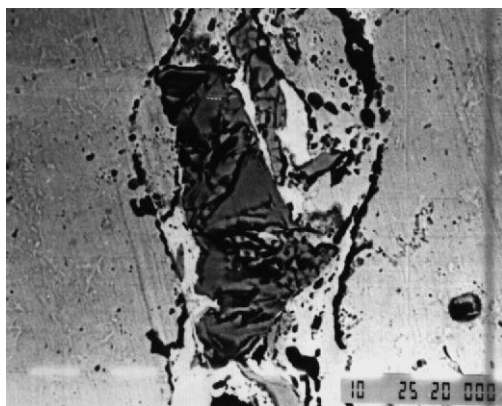
б)



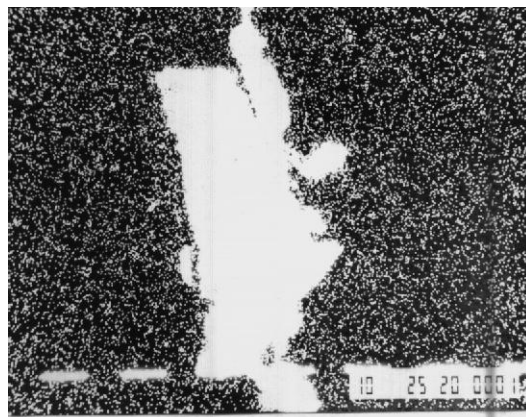
в)

а – загальний вигляд карбідів; б – розподіл Fe; в – розподіл Cr.

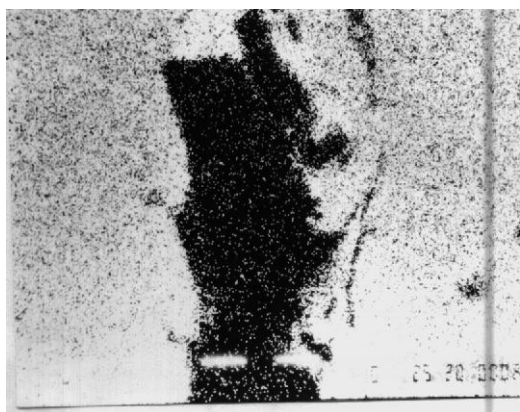
Рисунок. 3.5 – Сканеграми розподілу елементів КП з неплакованим наповнювачем (x750)



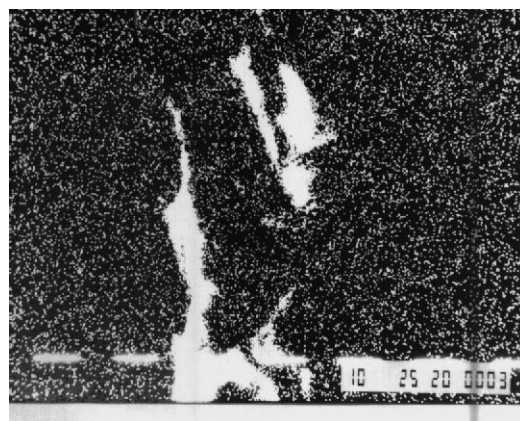
а)



б)



в)



г)

а – загальний вигляд плакованого карбіду; б – розподіл Cr; в – розподіл Fe; г – розподіл Ni.

Рисунок 3.6 – Сканеграми розподілу елементів КП з частинками наповнювача, плакованими нікелем (x700):

Залучення методів РЕМ і рентгеноспектрального аналізу дозволило визначити склад фаз КП. Установлено, що в частинках, не плакованих нікелем, відбувається взаємна дифузія хрому і заліза, при цьому утворюються фази складного карбіду $(Cr, Fe)_7C_3$, що хоча й сприяє досягненню більш високого ступеня однорідності та щільності навареного матеріалу, але призводить до зниження твердості наповнювача і зносостійкості КП в цілому. У випадку використання плакованого наповнювача утворення фази карбіду $(Cr, Fe)_7C_3$ не виявили. На нашу думку, плакуючий шар нікелю запобігає процесу розчинення

наповнювача у залізній матриці, але спостерігається легування матриці нікелем.

Склад і структура покриття залежать від геометричних розмірів складових присадного матеріалу і впливу режимів наварювання.

При проведенні якісного аналізу відносну концентрацію окремих елементів у конкретній точці покриття судять за інтенсивністю ліній цих компонентів (рис. 3.7-3.8).

Найважливішим компонентом карбідної кераміки, від якого залежить структура і властивості КП є вуглець. Більшість авторів, які займалися газополуменевим розпиленням карбідів, відмічають вигорання вуглецю внаслідок взаємодії порошків карбідів із газовим полум'ям.

Проводився хімічний аналіз порошків Cr_3C_2 до і після розпилення їх у ємність з водою пальником для ГПН. Відстань від сопла пальника до водного дзеркала приймалася рівною дистанції наплення при газопорошковому наплавленні (~30 мм).

Аналіз показав (табл. 3.3), що вигорання вуглецю незначне, причому для плакованих частинок воно зменшується.

Таблиця 3.3 – Вміст вуглецю в порошках Cr_3C_2 і КХНП-20

Склад порошку	Кількість вуглецю, %	
	до розпилення	після розпилення
Cr_3C_2	13,4	10,6
$\text{Cr}_3\text{C}_2 - 20\text{Ni}$ (КХНП-20)	13,4	12,7

3.4. Дослідження основних властивостей КП, одержаних ГПН

3.4.1. Мікротвердість. Для оцінки мікротвердості наплавлених КП застосовували метод показника частоти кількості відбитків певної величини у відсотках до загального числа відбитків. Такий прийом часто використовується в оцінці твердості гетерогенних композиційних матеріалів і покриттів, наприклад.

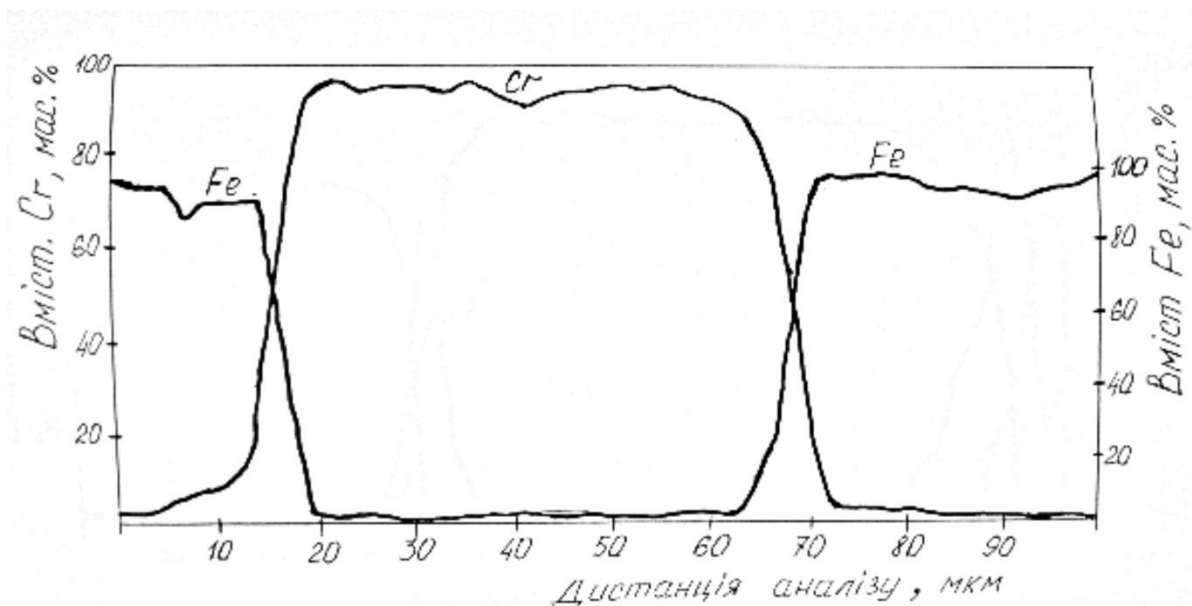


Рисунок 3.7 – Розподіл елементів КП складу $[\text{Fe-Cr}_3\text{C}_2]$

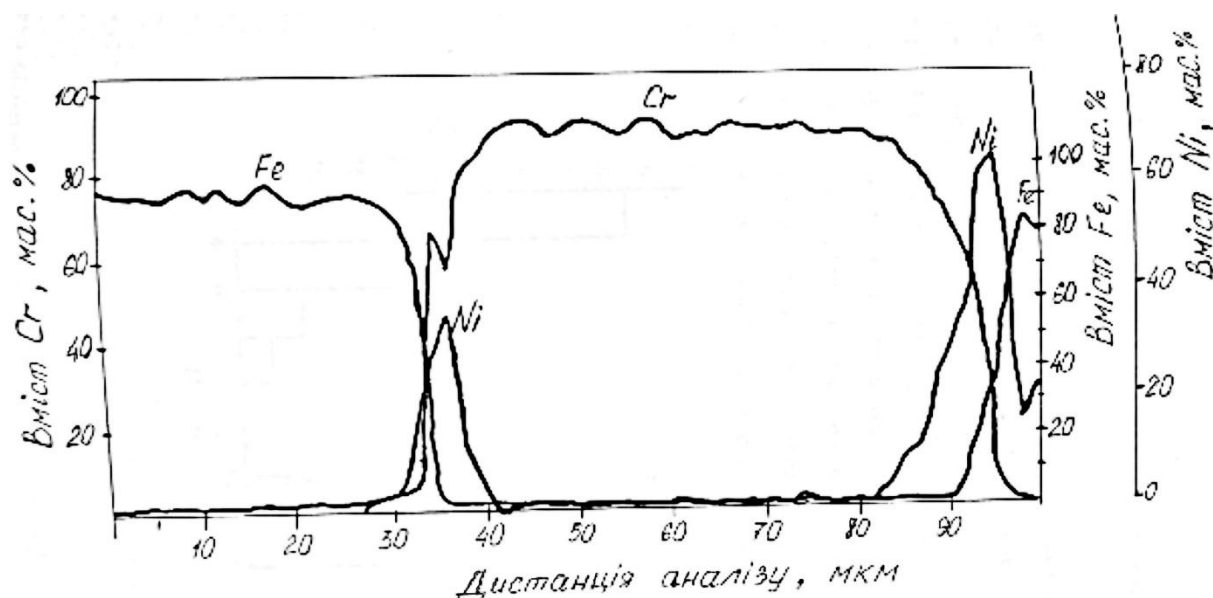
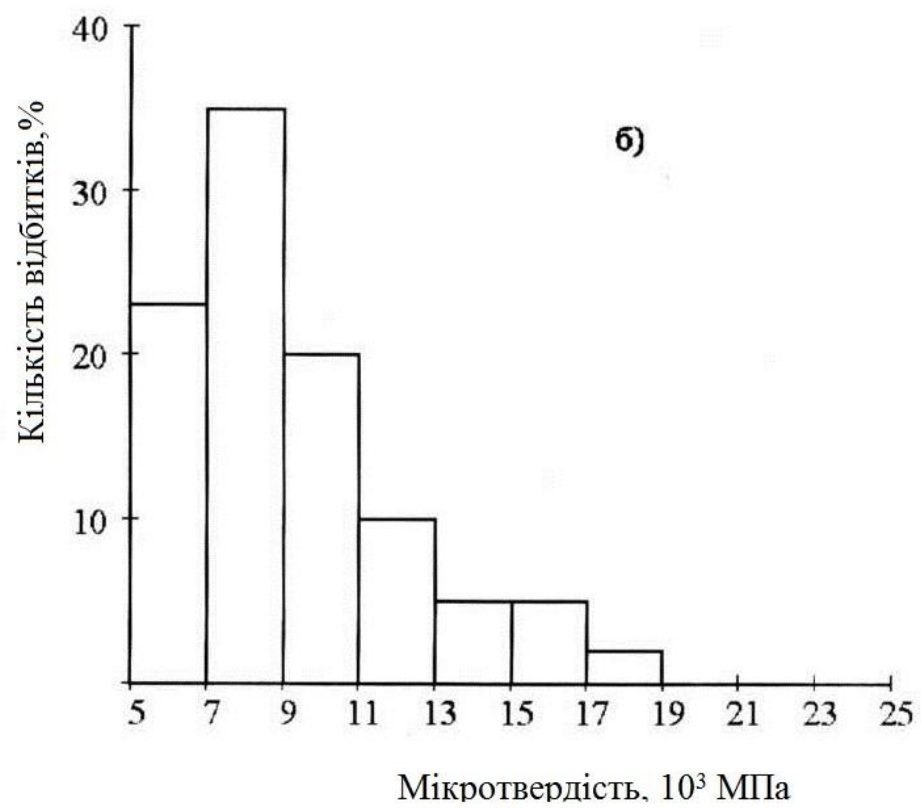
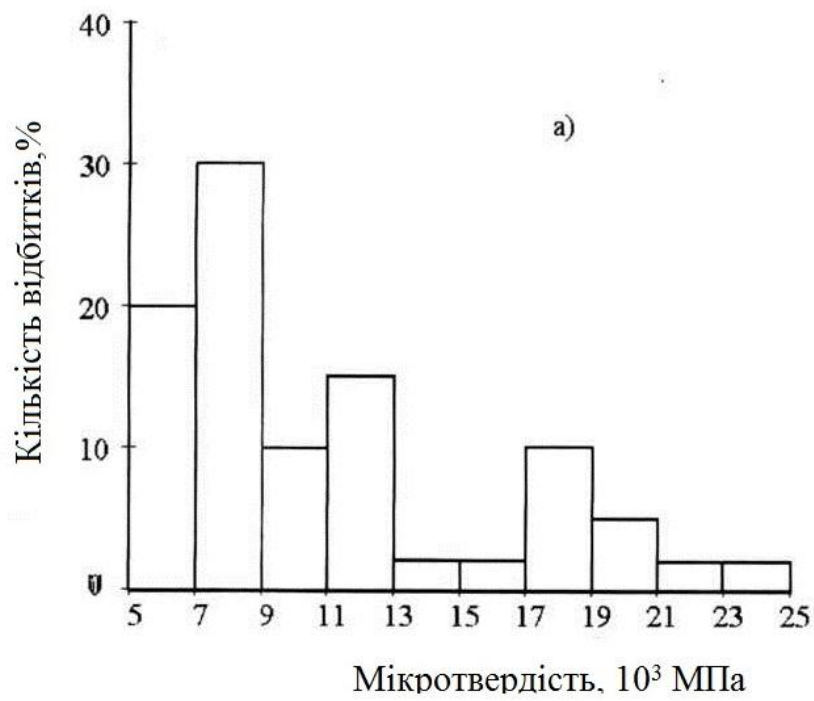


Рисунок 3.8 – Розподіл елементів КП складу $[\text{Fe-Ni-Cr}_3\text{C}_2]$

З результатів вимірювання мікротвердості наплавлених КП (рис. 3.9) видно, що значення H_μ можна розділити на три зони: твердість наповнювача (карбідів) – $(13-25) \cdot 10^3$ МПа, твердість матриці (на основі заліза) – $(5-7) \cdot 10^3$ МПа та твердість різних продуктів взаємодії основних компонентів $(7-13) \cdot 10^3$ МПа. Причому, у разі плакованих карбідів таких продуктів взаємодії менше, а вільних карбідів більше, що пояснюється їх меншою розчинністю в матриці.



а – суміш [Fe-Ni-Cr₃C₂];

б – суміш [Fe-Cr₃C₂]

Рисунок 3.9 – Мікротвердість КП (вміст наповнювача 40%)

Відповідно до [9], для умов абразивного зношування твердість основи матеріалу (матриці) повинна бути не менше $H_{\mu}/1,7$ (де - твердість абразиву, для кварцу $H_{\mu} = 9\ 320$ МПа [15]), тобто. близько 6300 МПа. Виходячи з цього критерію, жорсткість матриці отриманих КП знаходиться на достатньому

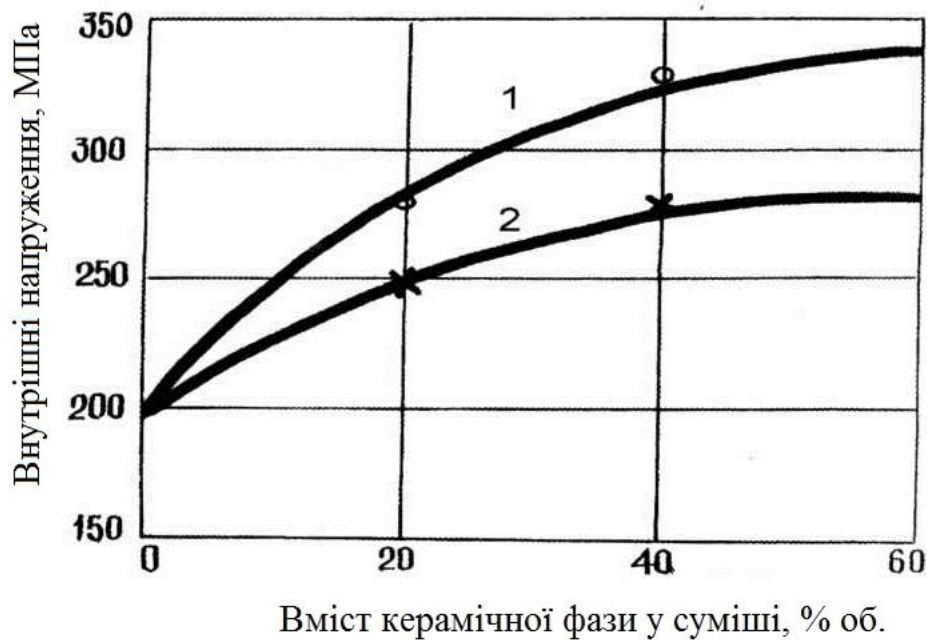
3.4.2 Внутрішні напруження. Внутрішні напруження наплавлених покриттів є одним із основних критеріїв працездатності відновлених деталей. Вони впливають на ударну міцність покриттів, а також часто визначають наявність деформації (короблення) деталі в результаті наплавних операцій.

Формування внутрішніх напружень у композиційних покриттях носить досить складний характер, та їх кінцева величина визначається цілим рядом факторів: співвідношенням металевої та керамічної складових у КП; різницею коефіцієнтів термічного розширення матеріалів матриці, наповнювача та основи деталі; рівнем зв'язку між складовими покриття; умовами нагрівання та охолодження деталі в процесі наплавлення покриття.

За вимірюваннями деформації зразків після ГПН були виконані розрахунки внутрішніх напружень покриттів (рис. 3.10).

Спостерігалися напруження стиснення, що зазвичай і відбувається, коли коефіцієнт термічного розширення (КТР) матеріалу покриття менше за КТР основи деталі, керамічний наповнювач зменшує сумарний КТР композиційного покриття.

Загальний рівень внутрішніх напружень покриттів із введенням керамічної складової трохи підвищується, що може бути результатом перебігу кількох процесів: розчинення карбідів, тобто. зменшення керамічної компоненти; насичення матриці хромом, тобто. зменшення КТР матриці (КТР: $Fe = 11,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; $Cr = 8,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$); утворення інших карбідів тощо. Для КП з КХНП рівень напружень дещо нижчий, ніж у разі неплакованих частинок Cr_3C_2 .



1 – суміш [Fe-Cr₃C₂];

2 – суміш [Fe-Ni-Cr₃C₂]

Рисунок 3.10 – Залежність внутрішніх напружень від складу КП

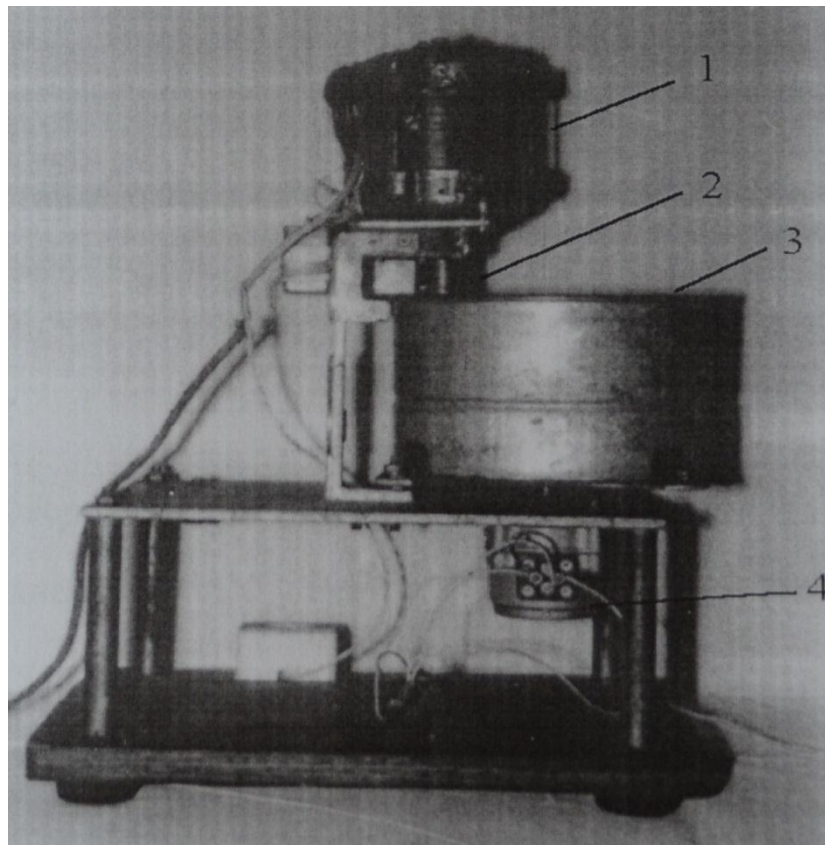
3.4.3 Абразивна зносостійкість. Відповідно до сучасних уявлень про ідеальний матеріал для умов абразивного зношування [1, 16, 19] він повинен являти собою пластичну металеву матрицю та твердий керамічний наповнювач.

У зв'язку з цим основним питанням для дослідження абразивної зносостійкості КП було визначення оптимального співвідношення металевої та керамічної складових покриття.

Досліджувані КП пропонується використовувати для відновлення та зміцнення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування. У зв'язку з цим було розроблено установку для порівняльних випробувань зразків на зношування вільним абразивом (рис. 3.11).

Як показали випробування КП, проведені за умов зношування вільним абразивом (рис. 3.12), існує оптимальний вміст кераміки у складі покриттів.

Для КП з плакованими частинками карбіду хрому це концентрація 40 об.%. Для покриттів з «голими» частинками Cr₃C₂ максимум зносостійкості зсувається у бік 60% карбіду хрому в суміші для ГПН.

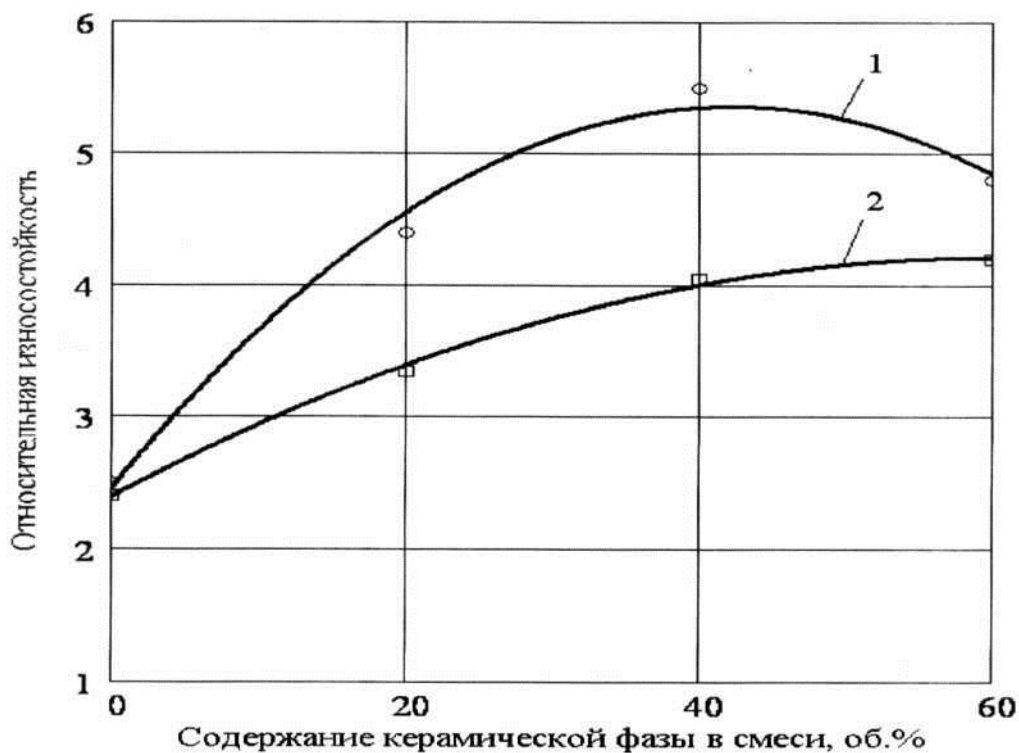


1 – привід обертання зразка; 2 зразок; 3 – чаша з абразивом; 4 – привід обертання

Рисунок 3.11 – Установка для випробовування зносостійкості в умовах абразивного зношування

Можна припустити, що більш висока зносостійкість для покриттів, отриманих із суміші Cr_3C_2 формується при вмісті керамічної фази 60 об.%, але такі досліді проводити ми вважали недоцільним через неефективне використання карбіду хрому та підвищення крихкості покриття.

Максимум зносостійкості КП досягається при достатній кількості частинок наповнювача для сприйняття навантаження, а вміст металевої матриці ще настільки великий, що може утримати частинки від викришування. Зі зменшенням об'єму матриці частинок у покритті стає так багато, що вони починають стикатися, зменшуючи до мінімуму вплив пластичного матеріалу матриці на міцність КП. Оптимальна концентрація наповнювача становить 40об.%, що відповідає даним робіт [16].



1 – суміш [Fe-Ni-Cr₃C₂];

2 – суміш [Fe-Cr₃C₂].

Рисунок 3.12 – Зносостійкість наплавлених покриттів в умовах зношування вільним абразивом

3.5 Висновки

1. В результаті дослідження швидкісних та температурних характеристик газопорошкового струменя визначено оптимальну дистанцію напилення кераміко-металевої суміші порошків при ГПН – близько 30 мм.

2. Встановлено, що краща мікроструктура КП з погляду рівномірності розподілу керамічного наповнювача в матриці та зменшення його розчинення в процесі наплавлення властива для КП, отриманих із суміші з плакованою керамікою.

3. Наявність плакуючого шару на карбідних частинках запобігає вигорянню вуглецю, що сприяє збереженню вихідної твердості наповнювача.

5. Найбільш висока зносостійкість КП в умовах зношування вільним абразивом спостерігається при вмісті плакованих частинок хрому карбіду в кількості 40 об.%.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ РОБОЧИХ ОРГАНІВ С/Г МАШИН ГПН КП. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

4.1 Обґрунтування вибору лапи культиватора як основний об'єкт для ГПН КП

Лапа культиватора є однією з наймасовіших деталей сільськогосподарських машин. У процесі взаємодії лап культиваторів із ґрунтом ріжучі кромки їх піддаються абразивному зносу. Це позначається головним чином на якості підрізання бур'янів і підвищення енергоємності пропалочного агрегату. Витрати на відновлення лап культиваторів, а також втрати через простой агрегатів при їх замінах або заточеннях значно підвищують собівартість сільськогосподарської продукції. Зрештою, внаслідок малих термінів служби витрачається велика кількість запасних лап культиваторів, вартість яких згідно з нашими припущеннями виявляється вищою за вартість відновлених деталей.

Всі способи підвищення довговічності лап культиваторів, які застосовуються як при їх виготовленні, так і відновленні можна розділити на три групи[19]:

- пошук нових матеріалів для виготовлення лап;
- застосування різних видів термічної та хіміко-термічної обробки;
- нанесення зміцнювальних покриттів.

Остання група методів найпоширеніша. З існуючих методів нанесення покриттів для зміцнення лап використовувалися гальванічні покриття (хромування), поверхневе легування електроіскровою обробкою, заморожування та різні види наплавлення.

Широке промислове використання знайшли: під час виготовлення культиваторних лап – індукційна наплавлення; у ремонтному виробництві – газова та дугова наплавлення.

У ремонтних майстернях індукційне наплавлення деталей ґрунтообробних знарядь не застосовується через велику енергоємність обладнання та невеликі програми відновлення. З огляду на це, для зміцнення деталей робочих органів сільськогосподарських машин, зокрема лап культиваторів, переважно використовується газополуменеве наплавлення як прутковими, так і порошкоподібними матеріалами. Як присадний матеріал використовують: литі тверді сплави у вигляді прутків, трубчасті стрижні з релітом, порошкоподібні сплави [15]. Таким чином, практична реалізація ГПН КП не є складним завданням для майстерень, якщо є відповідне обладнання та робітники – газозварювальники та достатній досвід використання методів газополуменевої обробки.

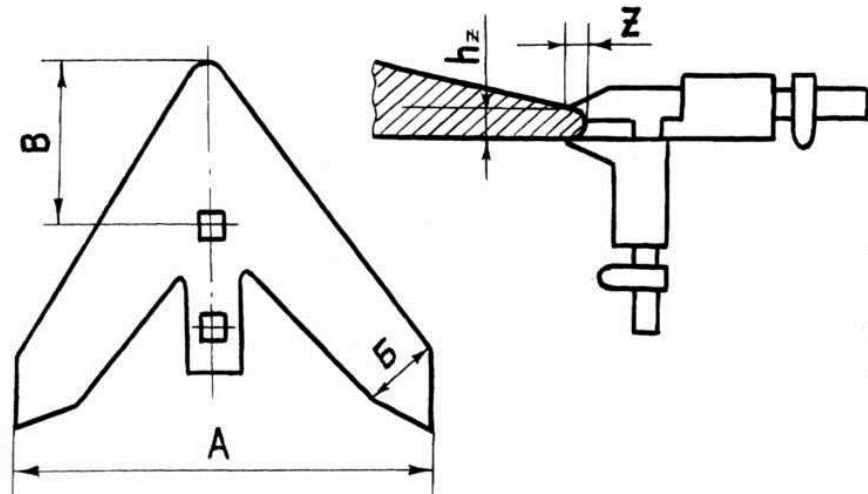
Зношені лапи культиваторів характеризуються затупленням леза та зменшенням основних розмірів. Основні контрольовані розміри різних лап культиваторів показано на рис. 4.1. У цій роботі як основний об'єкт для ГПН використовувалася стрілчаста лапа культиватора КПС 270 (Н 043.05.402А-01). Ескіз цієї лапи представлений на рис. 4.2.

Згідно з найпоширенішою технологією відновлення лап культиваторів [14] при граничному затупленні лапи відтягують ковальським способом і заточують леза. Відповідальною операцією є термообробка лез. Лапу нагрівають до температури 820°C та опускають у масло так, щоб вона занурилась по ширині леза на 20...25 мм. Після загартування її відпускають, знову нагріваючи до 400°C та охолоджуючи на повітрі.

4.2 Технологічний процес і техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування розробленої технології

Для здійснення операції ГПН КП можна використовувати будь-який пальник для ГПН. На підставі проведених лабораторних досліджень як

наплавлювальний матеріал використовуємо механічну суміш [Fe-Ni- Cr₃C₂].
 Режими наплавлення: дистанція наплення – 30 мм; коефіцієнт $\beta=0,8\ldots 1$;
 швидкість наплавлення 11...12 м/год.; витрати порошкової суміші на 1 лапу
 40...44 г. Товщина напавленого шару 0,4...0,6 мм.



A – ширина захвату; B – відстань від першого отвору до носка (довжина носка; Б – ширина крила на кінцях лез; h_z – товщина ріжучої кромки на відстані z від вершини

Рисунок 4.1 – Контрольовані розміри лап культиваторів

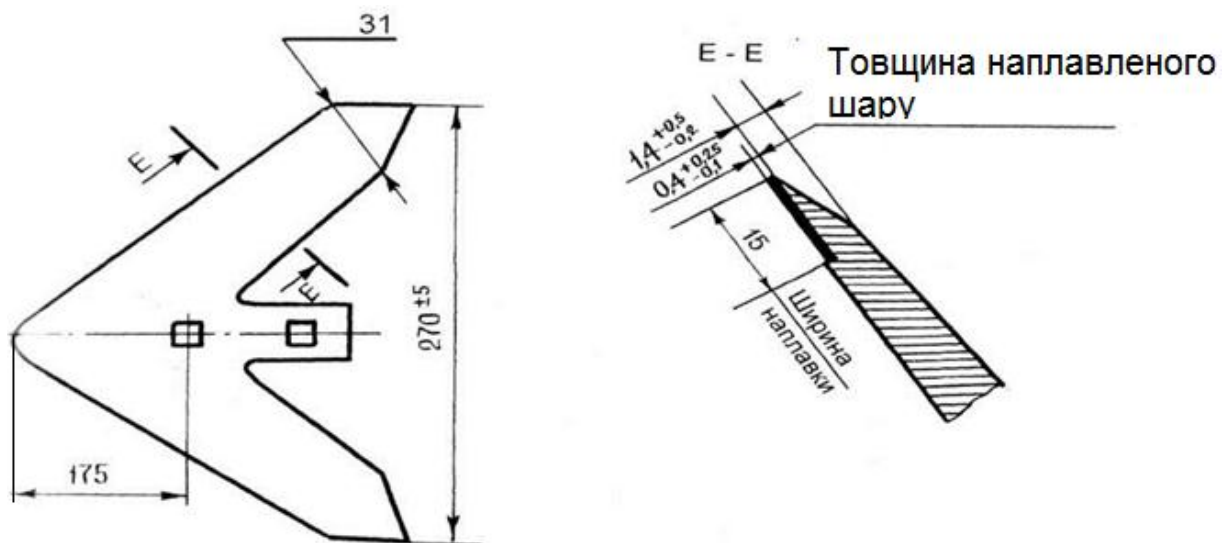


Рисунок 4.2 – Ескіз стрілкової лапи КПС 270 (Н 043.05.402А-01)
 культиватора

Для відновлення зношених лап культиваторів та інших ґрунтообробних машин можна рекомендувати технологічний процес, схема якого наведена на рис. 4.3.

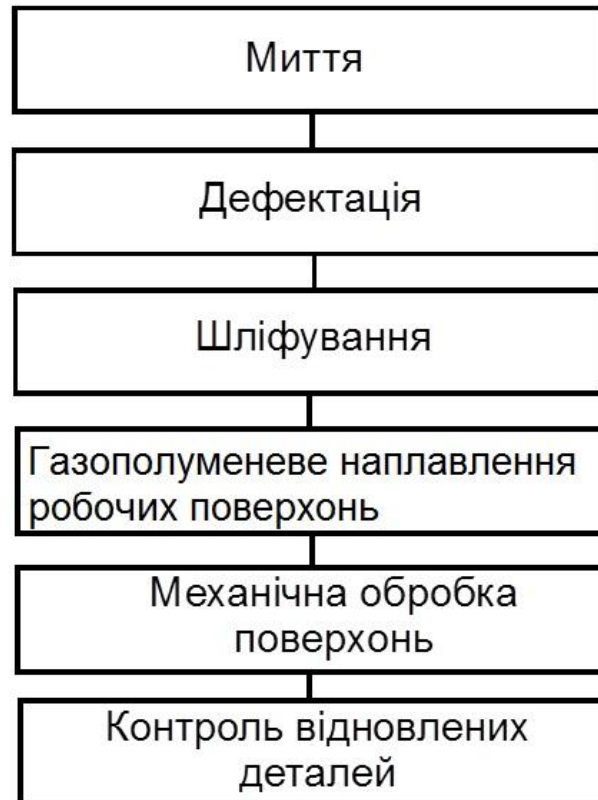


Рисунок 4.3 – Технологічний процес відновлення деталей ґрунтообробних машин ГПН композиційних покриттів

Визначимо показники ефективності відновлення лап культиватора ГПН КП. На культиваторі КПС-4 встановлюється 17 стрілчатих лап. Тому в розрахунках встановимо програму – 17 лап.

Матеріальні витрати визначимо за виразом [17, 18]:

$$B_M = \left(\sum_{1}^n H_{\text{г}} \cdot C_M \right) \cdot K_{\text{ТЗВ}}$$

де $H_{\text{г}}$ - норма витрати матеріалу на вузол або деталь, кг;

n - кількість однакових вузлів деталей, шт.;

C_M - ціна 1 кг матеріалу, грн.;

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

Таблиця 4.1 – Необхідна кількість матеріалу

Матеріал	Норма витрати матеріалу, кг	Кількість деталей, шт.	Ціна за 1 кг матеріалу, грн.	Ціна матеріалу деталей, грн.
1	2	4	5	6
Порошкова суміш для ГПН	0,04 кг	17	530	360,40
Газ	Норма витрати газу, л/год.	Час наплавлення, год.	Ціна за 1 л газу, грн.	
Ацетилен	200.	0,05	8,75	1487,50
Кисень	200	0,05	1,75	397,50
Всього				2245,40

$$B_M = 2245 \cdot 1,1 = 2469,94 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці:

$$Z_{\text{п}} = \sum_1^n T_{\text{виг}} \cdot l_{\text{годі}} \cdot \left(1 + \frac{K_{\partial}}{100}\right),$$

Таблиця 4.2 - Трудомісткість відновлення лапи культиватора

Найменування операції	Трудомісткість операції, люд-год.	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн/год.	Заробітна плата, грн.
Зварювальна (ГПН)	1,02	V	49,64	50,63
Шліфувальна	1,36	IV	43,80	59,56
Всього				110,19

Отже, витрати на оплату праці

$$Z_{\text{п}} = 110,19 \cdot 1,3 = 143,25 \text{ грн.}$$

Визначаємо відрахування до єдиного соціального внеску:

$$B_{\text{соц.}} = 143,25 \cdot 0,375 = 53,72 \text{ грн.}$$

Визначаємо накладні витрати:

$$B_{\text{н}} = K_{\text{н}} \cdot Z_{\text{п}} = 1,5 \cdot 110,19 = 165,29 \text{ грн.}$$

Таким чином, собівартість відновлення партії стрілчатих лап в кількості 17 шт. складе:

$$C_{\Pi} = 2469,94 + 143,25 + 53,72 + 165,29 = 2832,20 \text{ грн.}$$

Тобто, вартість відновлення однієї деталі $C_{од} = 166,60$ грн.

Ціна нової лапи культиватора $\Pi = 230$ грн., що на 63,40 грн. більше відновленої. Економічний ефект відновлення партії у 17 лап складе 1077,80 грн.

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

$$E = \frac{\Pi}{P_{н}} - \frac{C_{од}}{P_{в}},$$

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

Економічний ефект відновлення стрілчатої лапи культиватора з урахуванням збільшення зносостійкості ріжучого елементу складає $E = 142,30$ грн.

4.3 Висновки

1. Однією з наймасовіших деталей сільськогосподарських машин, які потребують зміцнення при відновленні та виготовленні, є лапа культиватора. Найбільш простим та ефективним способом зміцнення культиваторних лап є ГПН.

2. Розроблено технологічний процес ГПН КП стрілчастої лапи культиватора механічними сумішами складу $[Fe-Ni-Cr_3C_2]$ – залізний порошок ПЗ з додаванням 40% об. плакованого нікелем карбіду хрому КХНП-20.. Режим наплавлення: дистанція наплавлення – близько 30 мм; коефіцієнт $\beta = 0,8 \dots 1$; швидкість наплавлення 12,5...13,5 м/год); товщина наплавленого шару 0,4...0,6 мм.

3. Технологічний процес ГПН КП стрілчатих лап культиваторів в умовах ФГ «Гончаренко» дасть економічний ефект 142,30 грн. на одну лапу культиватора.

ВИСНОВКИ

1. Одним із напрямів підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин при їх відновленні та виготовленні є застосування композиційних кераміко-металевих покриттів. В умовах енергетичної кризи, спричиненої збройною агресією держави-окупанта, найбільш простим та ефективним способом формування КП є ГПН.

2. У рамках гідродинамічної моделі трифазного газопорошкового потоку при ГПН здійснено розрахунок швидкостей і температур порошкових частинок, показано, що для плакованих частинок кераміки зменшується мінімальна швидкість їх занурення в розплав покриття.

3. У результаті експериментального дослідження швидкісних та температурних характеристик газопорошкового струменя визначено оптимальна дистанція наплавлення кераміко-металевої суміші порошків при ГПН – 30 мм.

4. Установлено, що склад та структура КП визначається ступенем міжфазної взаємодії компонентів КП. Більш сприятлива мікроструктура КП з точки зору кількості та рівномірності розподілу наповнювача в матриці властива для КП, отриманих із суміші з плакованою керамікою.

5. На основі вивчення структури та властивостей КП визначено оптимальні склади порошкових сумішей для ГПН покриттів, що працюють в умовах абразивного зношування: залізний порошок ПЗ (60%) + плакований нікелем карбід хрому КХНП-20 (40 %).

6. Розроблено схему технологічного процесу ГПН КП стрілчастих лап культиваторів. Режим наплавлення: дистанція напилення – 30 мм; коефіцієнт $\beta = (0,8 \dots 1)$; швидкість наплавлення 11...12 м/год; товщина покриття 0,4...0,6 мм.

7. Економічний ефект технологічного процесу ГПН стрілчастих лап культиваторів КП в умовах ФГ «Гончаренко» склав 142,30 грн. на одну лапу культиватора.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В.В., Василенко І.Ф., Красота М.В. 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. Газове зварювання. URL:
https://www.sjf.tuke.sk/ktmappv/images/Zvaranie/04_Zvaranie_plamenom_-_preklad.pdf
4. Газові пальники. *TEPLOLIFE* : веб-сайт. URL:
<http://teplolife.com.ua/gazovi-palniki-na-balonchik-riznovidi-ta-printsip-roboti-nyuansi-viboru-i-vikoristannya/>
5. 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.
6. Дьомін М. М., Фоменко М. С. Гідродинамічна модель як макropідхід для управління транспортним потоком / Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ : КНУБА, 2011. Вип. 40 (1). С. 386 - 394.
7. Економіка підприємства: навчальний посіб. для студентів закл. вищ. освіти / Н.М. Колпаченко, Ю.А. Сайчук, В.К. Аветісян, В.А. Бантковський, В.Л. Маніло. Харків: Діса плюс, 2019. 277 с.
8. Економіка підприємства / С.М. Рогач [та ін.]; Нац. Ун-т біоресурсів і природокористування України. К.: КОМПРИНТ, 2015. 391 с.

9. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. — 322 с.

10, Захарчук О.В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. 140 с.

11. Іванов О.О. Дослідження структури та властивостей зносостійких покриттів, отриманих методом наплавлення порошковими електродами на основі системи Fe-Ti-B-C. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 3(34). С. 81-87.

12. Композити. *Вікіпедія* : веб-сайт. URL:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D0%B8>

13. Кондрачук М. В. Трибологія / М. В. Кондрачук, В. Ф. Хабутель М. І., Пашечко Є. В. Корбут. К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. 232 с.

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

15. Лузан С.О., Сідашенко О.І., Лузан А.С. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей. Харків: ХНТУСГ, 2020. 127 с.

16. Лузан С.О. Обґрунтування економічної доцільності і ефективності відновлюваного наплавлення деталей композиційними матеріалами . Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів. 2020. №22. С.272–280.

17. Матриця (композиційні матеріали). *Вікіпедія* : веб-сайт. URL:
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%8F_\(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%8F_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8))

18. Поліщук В/ С/ Інтенсифікація процесів одержання карбідів, нітридів і композиційних матеріалів на їх основі автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.16.06. Нац. акад. наук України, Ін-т пробл. матеріалознавства ім. І. М. Францевича. К., 2004. 44 с.

19. 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.

20. Які горючі гази застосовуються при газовому зварюванні. Забарвлення та маркування газових балонів. *ni.biz.ua - Навчальна Інформація для українських студентів* : веб-сайт. URL: http://ni.biz.ua/9/9_9/9_90578_kakie-goryuchie-gazi-primenyayutsya-pri-gazovoy-svarke-okraska-i-markirovka-gazovih-ballonov.html