

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР. АТм-85.00.00.000 ПЗ

Група АТм-24-2

Сергій Поліха

2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки і робототехніки

Кафедра Автомобільного транспорту

Поліха Сергій Миколайович

УДК 621.793.72

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей автомобілів в умовах
Комунального підприємства “Електроавтотранс”, м. Івано-Франківськ.
(назва згідно з наказом ректора)

Автомобільний транспорт
(назва освітньої програми)

274 – Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Студент _____ С.М. Поліха
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник _____ Прунько Ігор Богданович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

завідувач кафедри автомобільного транспорту

д.т.н, професор. _____ С.І. Криштопа
(посада) (підпис) (дата) ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ - 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут: інженерної механіки і робототехніки

Кафедра: автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 274 “Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завкафедрою АТ

_____ С.І. Криштопа

„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту _____ Полісі Сергію Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей автомобілів в умовах Комунального підприємства «Електроавтотранс», м. Івано-Франківськ.

керівник проєкту (роботи) Прунько Ігор Богданович, к.т.н., доц.

Затверджена наказом ректора університету від № _____ від _____ 2025 р.

2 Термін здачі студентом закінченої роботи _____

3 Вихідні дані до роботи Дані по підприємству «Електроавтотранс», інформація швидкозношуваних деталей автомобілів, які найчастіше підлягають заміні (за данми підприємства бази практики).

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1. Аналіз роботи підприємства «Електроавтотранс», м. Івано-Франківськ. 2. Аналіз застосування процесу нанесення газополум'яних покриттів для підвищення зносостійкості деталей автомобілів. 3. Дослідження покриттів, нанесеного методом газополум'яного покриття 4. Безпека праці при нанесенні газополум'яних покриттів.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 Графічні презентаційні матеріали

6. Консультанти з проєкту (роботи), із зазначенням розділів проєкту

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	доц. Прунько І.Б.		

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Пор №	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	РОЗДІЛ 1. Аналіз роботи підприємства «Електроавтотранс», м. Івано-Франківськ	10.09.2025	
2	РОЗДІЛ 2. Аналіз застосування процесу нанесення газополум'яних покриттів для підвищення зносостійкості деталей автомобілів	2.10.2025	
3	РОЗДІЛ 3. Дослідження покриттів, нанесеного методом газополум'яного покриття	29.10.2025	
4	РОЗДІЛ 4. Безпека праці при нанесенні газополум'яних покриттів	20.12.2025	
5	Оформлення графічної частини	21.12.2025	

Студент**Сергій ПОЛІХА**
(підпис) (розшифрування підпису)**Керівник роботи****Ігор ПРУНЬКО**
(підпис) (розшифрування підпису)

АНОТАЦІЯ

Поліха С.М.

Тема роботи: Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей автомобілів в умовах Комунального підприємства «Електроавтотранс», м. Івано-Франківськ.

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт».

Заклад освіти Івано-Франківський національний технічний університету нафти і газу.

Івано-Франківськ, 2025 рік.

Робота містить 65 сторінок, 14 таблиць, 25 рисунків, список літератури з 53 найменувань.

У роботі проаналізовано існуючі методи та фізичні принципи отримання газополум'яних покриттів. Вказано на основні їх переваги та недоліки.

Проаналізовано результати дослідів з нанесення покриттів, на основі чого зроблено рекомендації з впровадження у виробництво.

Ключові слова: газополум'яне напилення, технологія та оснащення, міцність зчеплення, підготовка поверхні, порошковий матеріал, воднево-кисневе полум'я, біметалічний підшипник ковзання, накочування.

ABSTRACT

Polikha S.M.

Topic of the work: Analysis of methods for increasing the wear resistance of automobile parts in the conditions of the Municipal Enterprise "Electroavtotrans", Ivano-Frankivsk.

Specialty 274 "Automobile Transport".

Educational institution Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Ivano-Frankivsk, 2025.

The work contains 81 pages, 14 tables, 25 figures, a list of references of 53 titles.

The work analyzes existing methods and physical principles of obtaining gas-flame coatings. Their main advantages and disadvantages are indicated.

The results of experiments on coating application are analyzed, on the basis of which recommendations for implementation in production are made.

Keywords: gas flame spraying, technology and equipment, bond strength, surface preparation, powder material, hydrogen-oxygen flame, bimetallic plain bearing, rolling.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА «ЕЛЕКТРОАВТОТРАНС», М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК.	11
1.1 Структура та сфера надання послуг підприємства «Електроавтотранс», м. Івано-Франківськ.	11
1.2 Технічні характеристики автомобіля Богдан А70132	12
Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ГАЗОПОЛУМ'ЯНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ.....	18
2.1 Огляд застосування процесу газополум'яних покриттів	18
2.1.1 Метод газополум'яного напилення.....	21
2.1.2 Високошвидкісне газополум'яне напилення	23
2.1.3 Метод детонаційного напилення	24
2.1.4 Плазмове напилення	25
2.1.5 Методи отримання порошкових матеріалів для газотермічного напилення	26
2.1.6 Металокерамічні частинки, одержувані цим способом, мають осколкову форму і рівномірний розподіл карбідів обсягом частинки.	28
2.1.7 Механічне легування (механоактивація)	30
Висновки до розділу 2	32
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНОГО МЕТОДОМ ГАЗОПОЛУМ'ЯНОГО ПОКРИТТЯ.....	33
3.1 Матеріали та методи	33
Висновки до розділу 3	37
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ НАНЕСЕННІ ГАЗОПОЛУМ'ЯНИХ ПОКРИТТІВ.....	39
4.1 Робоче місце.....	39
4.2 Засоби індивідуального захисту	42

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей автомобілів в умовах Комунального підприємства “Електроавтотранс”, м. Івано-Франківськ. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Поліха С.Р.						
Перевірив		Прунько І.Б.						
Рецензент								
Н. Контр.		Прунько І.Б.						
Затвердив		Криштопа С.І.			ІФНТУНГ гр. АТм-24-2			

ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	44
ДОДАТКИ.....	53

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Актуальність теми. Громадський транспорт є ключовим елементом життєдіяльності міста. Саме від його комфорту та зручності залежить рівень якості життя мешканців. Вплив міського транспорту на повсякденність значно більший, ніж може здаватися на перший погляд.

Основними критеріями зручності є швидкість та доступність. Завдання міського транспорту полягає в тому, щоб забезпечити можливість пересування з однієї точки міста в іншу з мінімальною кількістю пересадок та очікувань. Чим швидше це відбувається, тим активніше функціонує міське населення, а разом із цим зростає й бізнесова динаміка, адже час має пряму економічну цінність.

Досягнення високих експлуатаційних характеристик сучасної автомобільної техніки висуває вимоги до довговічності та надійності їх компонентів, що зумовлює необхідність постійного вдосконалення технологій їх виготовлення. Серед таких компонентів особливе місце займають довгомірні циліндричні деталі – штоки амортизаторів, гідро- та пневмоприводів маніпуляторів будівельно-дорожніх машин та іншої спецтехніки.

Їхня зносостійкість безпосередньо впливає на термін служби, безвідмовність, довговічність, а також на витрати на обслуговування автотранспортних машин і механізмів. Традиційні методи підвищення зносостійкості часто не відповідають сучасним вимогам, що підштовхує до пошуку інноваційних рішень, спрямованих на покращення характеристик виробів.

Метою магістерської роботи є підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкості, міцності, строку служби) деталей автомобілів. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання: 1) на основі аналізу літературних джерел та патентно-інформаційних досліджень обґрунтувати доцільність зміцнення і відновлення деталей автомобілів; 2) вибрати склад матеріалу покриття; 3) визначити фізико-механічні властивостями зміцнених і їх вплив на строк служби автомобільних деталей.

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об’єкт дослідження є покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці.

Предмет дослідження процес нанесення зносостійкого покриття методом газополум’яної металізації.

Методи дослідження 1) на основі аналізу літературних джерел та патентно-інформаційних досліджень обґрунтувати доцільність зміцнення і відновлення методом газополум’яної металізації.; 2) вибрати склад матеріалу покриття; 3) визначити фізико-механічні властивостями і їх вплив на строк служби.

Наукова новизна результатів роботи розглянуто покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці. В результаті показано, що найкращими характеристиками має покриття, отримане з порошку сферичного при нанесенні в низькоентальпійном тепловому потоці.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення результатів полягає в можливості їх використання для оптимізації технологій нанесення покриттів, що використовуються для збільшення терміну служби швидкозношуваних деталей автобусів та тролейбусів.

Структура та обсяг роботи. Магістерська роботи викладена у 4 розділах пояснювальної записки, всі розділи супроводжуються висновками, а також розроблена графічна частина презентації.

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА «ЕЛЕКТРОАВТОТРАНС», М. ІВАНО-ФРАНКІВСЬК.

1.1 Структура та сфера надання послуг підприємства «Електроавтотранс», м. Івано-Франківськ.

Підприємство здійснює такі види діяльності:

- Перевезення пасажирів електротранспортом.
- Перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом, у тому числі із залученням додаткових транспортних засобів на міських маршрутах, переданих підприємству для обслуговування.

- Будівництво ліній енергозабезпечення.

- Технічне обслуговування та ремонт:

електро- і автотранспорту,

контактних та кабельних ліній,

тягових підстанцій та іншого технологічного обладнання.

- Послуги для юридичних та фізичних осіб з ремонту та технічного обслуговування транспортних засобів, електрообладнання й апаратури.

- Надання рекламних послуг.

- Виконання робіт: столярних, слюсарних, сантехнічних, а також випробувальних та вимірювальних робіт електрообладнання й апаратури.

- Організація громадського харчування на базі підприємства.

- Оптова та роздрібна торгівля продовольчими та непродовольчими товарами.

- Реалізація та друк проїзних, абонементних та електронних квитків, виготовлення транспортних карток.

- Організація автостоянок та надання платних послуг із відповідального зберігання.

- Професійно-технічна освіта для підготовки кваліфікованих кадрів (водіїв тролейбусів, слюсарів з ремонту рухомого складу та іншого обладнання, а також інших професій згідно тарифно-кваліфікаційного довідника).

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розробка технічної документації та виготовлення запасних частин до тролейбусів і контактної мережі.
- Надання медичних послуг, зокрема стоматологічних та проведення передрейсових медичних оглядів водіїв.
- Ведення автоматизованих систем обліку та інформації.

1.2 Технічні характеристики автомобіля Богдан А70132

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика автобуса Богдан А70132*

Основні дані	Числове значення
Загальні дані	
Колісна формула	4x2
Довжина / ширина / висота, мм	11960/2550/3050
Колісна база, мм	5860
Колія передня / задня, мм	2160/1890
Висота першої ходи над рівнем дороги, мм	350
Споряджена маса, кг	10880
Технічно допустима максимальна маса, кг	18500
Технічно допустима макс. маса на передню / задню вісь, кг	7100/11500
Мінімальний радіус розвороту, м	12,5
Максимальна швидкість, км / год	70
Витрата пального при повному завантаженні, л / 100км	32
Двигун	
Тип	IVECO NEF F4A-6
Розміщення двигуна	заднє, поздовжнє
К-ть та розташування циліндрів	6, рядне
Робочий об'єм, л	5,9
Потужність, кВт (к.с.)	

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Крутний момент, Нм	194 (264)
Відповідь екологічного норма	1000
Система охолодження	Євро 5
Коробка передач	рідинна
Виробник, модель	Allison T325R, VOITH Diwa D864.5, ZF Ecolife
Тип	автоматична
Рульове управління	Виробник
Гідропідсилювач руля	ЗАТ “Радій”, ZF інтегрований з гідропідсилювачем
Підвіска	
Передня підвіска	незалежна, пневматична
Задня підвіска	залежна, пневматична
Передня вісь	ZF, VOITH
Задній міст	ZF, VOITH, порталний
Гальмівна система	
Тип	пневматична
Робоча гальмівна система	двоконтурна
Стоянкова гальмівна система	пружинний енергоакумулятор
Допоміжна гальмівна система	ретардер
Запасна гальмівна система	один з контурів робочої гальмівної системи
ABS	+
Кузов	
Тип	несучий, вагонної компоновки
Кількість дверей для пасажирів	3
Ширина дверних проїм (загальна), мм	1400/1400/1400

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Пасажиромісткість (без водія), чол	106
К-ть міст для сидіння (без водії)	30
Система опалення	рідинна
Тип сидінь	напівм'які
Колеса / Шини	
Розміри	8,25x22,5 / 275 / 70R22,5
Електрообладнання	
Номінальна напруга, В	24

* <https://www.lmv.com.ua/uk/node/82>

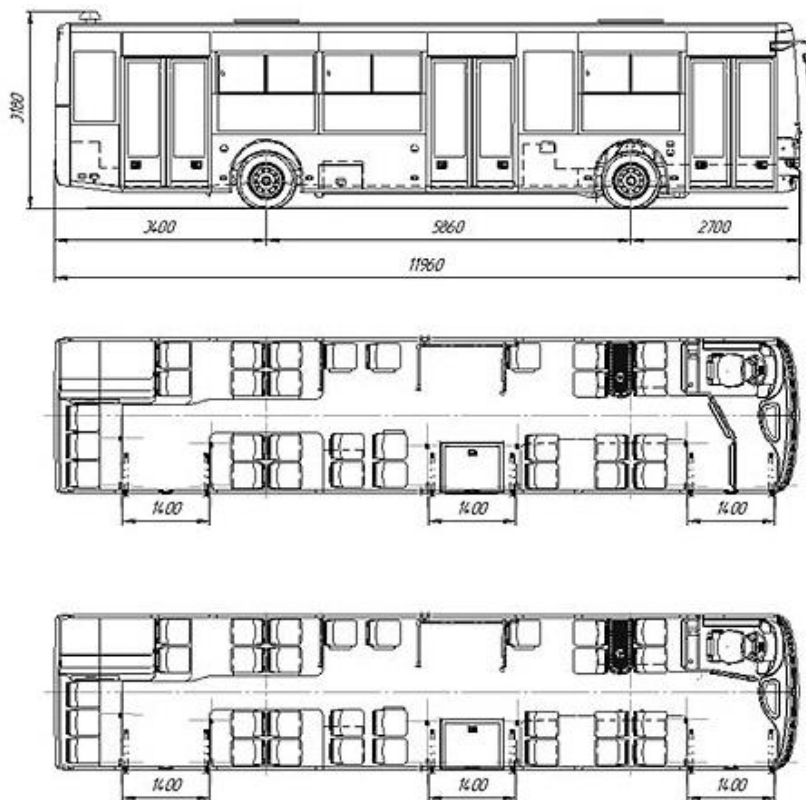


Рисунок 1.1 – габаритні розміри автобуса Богдан А70132

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.2 – Автобус Богдан А70132

В роботі розглядаємо наступні швидкозношувані деталі (рис. 1.3) – фрикційний диски. Він виготовляється зі сталі 65Mn (Китай, Європа). Українським аналогом даної сталі є сталь 65Г.



а)

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



б)



в)

Рисунок 1.4 – Рис. 2. Приклади відновлених і зміцнених автомобільних деталей: а) палець поршня 304-10-2 (сталь 12ХН3А-42, HRC58); б) розподільчий вал 101410АО (сталь 45); в) колінчастий вал (сталь 18Х2Н4МА)

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Висновки до розділу 1

Проведено огляд діяльності підприємстві «Електроавтотранс». Наведено характеристики автобуса Богдан А70132. В якості швидкозношуваної деталі розглядаємо палець поршня 304-10-2 (сталь 12ХН3А-42, НRC58); розподільчий вал 101410АО (сталь 45); колінчастий вал (сталь 18Х2Н4МА).

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ГАЗОПОЛУМ'ЯНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

2.1 Огляд застосування процесу газополум'яних покриттів

В сучасному машинобудуванні в останні десятиліття виник пріоритетний напрям – поверхневе зміцнення і нанесення зміцнюючих захисних покриттів, яке отримало загальну назву «інженерія поверхні». Починаючи з 90-х років минулого сторіччя США, Японія та Західна Європа щороку вносять у цей напрямок близько 150 млрд. дол. США. Використання технологій поверхневого зміцнення дозволяє підвищити довговічність деталей машини від 2 до 100 раз. При цьому зменшується витрата енергії і забезпечується можливість інтенсифікації багатьох виробничих процесів.

На сьогодні відомо близько 200 технологій інженерії поверхні. Згідно даних авторів фундаментального праці [1], яка узагальнює їх дослідження останніх десятиліть в області інженерії поверхні деталей машин, способи обробки або створення поверхневих шарів слід поділити за методами виконання на механічні, термомеханічні, термічні, хіміко-термічні, електрохімічні, хімічні, фізичні. В рамках цієї класифікації основними методами, який знайшов на сьогоднішній день широке застосування, є: газотермічне напилення, вакуумне ущільнення, наплавлення, модифікація поверхні концентрованими потоками енергії.

Гальванічне хромування отримало широке застосування в сучасному машинобудуванні як корозійностійке зносостійке покриття для відповідальних деталей, таких як кульові клапани, штоки та поршні, вали, поршневі кільця, посадкові поверхні для підшипників та багатьох інших. Переважна більшість виробів, що піддаються гальванічному хромуванню у промислових виробничих процесах, виготовляються із високоміцних сталей. Широке поширення гальванічного хромування пояснюється простотою технічної організації технологічного процесу доступністю вихідних матеріалів. Однак застосування гальванічних хромових покриттів для захисту титанових і алюмінієвих сплавів

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

призводить до суттєвого ускладнення технології нанесення, що передбачає використання проміжних сполучних шарів, і в сукупності призводить до погіршення як кінцевих характеристик покриттів, так і техніко-економічних показників. Для сучасних металокерамічних композиційних матеріалів у ряді випадків гальванічне покриття практично не застосовується. Зазначені природні обмеження для застосування гальванічного хромування призводять до необхідності вибору альтернативних покриттів та технологій їх нанесення для захисту високоміцних сталей, так і більш сучасних конструкційних матеріалів.

Фахівцями в галузі медицини проведено дослідження для встановлення причинно-наслідкового зв'язку між застосуванням гальванічного напилення та розвитком згодом ракових клітин у людини. Це було з тим, що з початку 1970-х гг. підвищилася смертність робітників від раку. Основною хімічною речовиною,

що надає негативний вплив на здоров'я людини, був шестивалентний хром, який утворюється в процесі гальванічного хромування. У зв'язку з цим було ухвалено рішення посилити екологічний контроль гальванічних процесів.

Як альтернатива гальванічному хромуванню провідними виробниками авіаційної техніки розглядаються газотермічні покриття на основі карбідів вольфраму та хрому. Найбільшого поширення набули покриття систем WC-Co, WC-Co-Cr і Cr₃C₂-NiCr. Найважливішою перевагою зазначених покриттів під час роботи в парі тертя з металевими поверхнями є структура, що відповідає принципу Шарпі, яка містить армуючу фазу на основі твердого карбиду металу, закріплену в пластичній металевій зв'язці. Така структура забезпечує високі характеристики опрацювання пари тертя і високий ресурс. Покриття на основі карбідів вольфраму та хрому, що наносяться методом газотермічного напилення, застосовуються для захисту деталей авіаційної техніки.

Зі сталей, а також сплавів на основі нікелю та титану [1].

Важливою перевагою газотермічних металокерамічних покриттів (в порівнянні з твердим гальванічним хромуванням) для захисту поверхонь штоків та поршнів гідро- та пневмоциліндрів є більш висока мікротвердість основного компонента покриття:

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 2.1 – Мікротвердість компонентів

Компонент	Cr _{ТВ}	Cr ₃ C ₂	WC
Мікротвердість, ГПа	6,8-9,3	10,4-20,2	13-22

Вона забезпечує суттєве підвищення ерозійної стійкості як за прямого ударному впливі абразиву, так і при стиральному впливі абразивних частинок, забруднюють поверхню ущільнювальних матеріалів.

З урахуванням відносно високої стійкості до окислення та корозії металокерамічної композиції Cr₃C₂-NiCr, дані покриття почали широко застосовуватися для нанесення зносо-корозійностійких покриттів на сталеві елементи в гарячій частині котлів для спалювання відходів, а також у електричних печах та устаткуванні.

працює на природному газі [2, 3]. Ці металокерамічні покриття наносять за допомогою різних способів газотермічного напилення, таких як плазмове напилення, метод детонаційного напилення, а також високошвидкісного газополум'яного напилення [4-10]. На рис. 2.1 представлені співвідношення швидкостей частинок та температур для різноманітних методів газотермічного напилення.

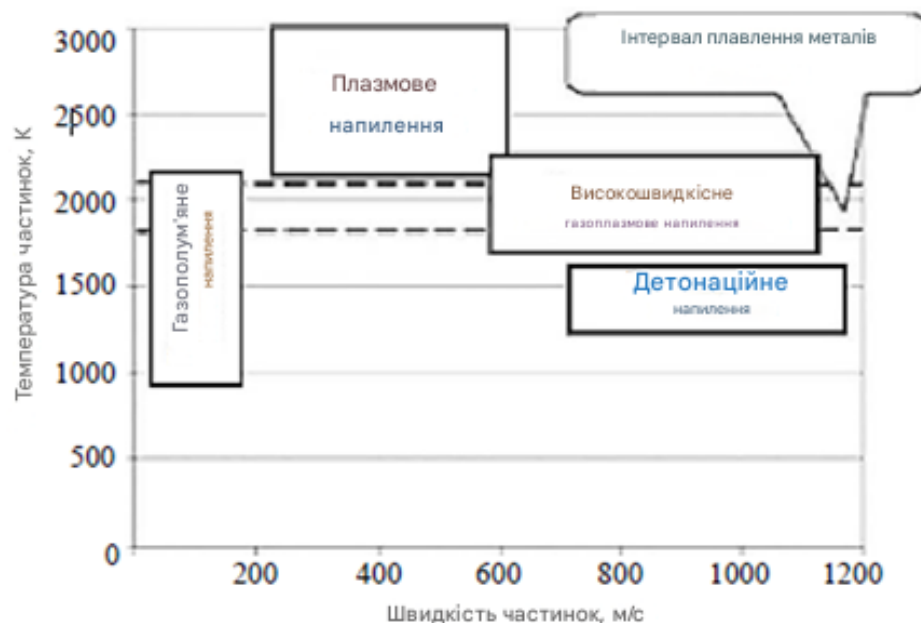


Рисунок 2.1 – Співвідношення швидкостей частинок та температур для різних методів газотермічного напилення

Металокерамічні покриття системи $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, отримані методами газотермічного напилення, використовуються також для зниження зношування та захисту від корозії при високих температурах у деталях газових турбін, що працюють в умовах сухого тертя та застосовуваних у різних галузях промисловості: електроенергетиці та нафтопереробці, аерокосмічній індустрії [11–18].

Металокерамічні покриття на основі карбиду вольфраму широко застосовуються при захисті деталей від механічного зношування, проте їх застосування обмежене при підвищених температурах ($>500\text{ }^\circ\text{C}$) або в хімічно агресивних середовищах через деградацію карбідної фази [19, 20].

2.1.1 Метод газополум'яного напилення

В даний час області застосування методу газополум'яного напилення - це нанесення покриттів на основі тугоплавких керамічних матеріалів, а також термореагуючих металевих сплавів, що само флюсуються, на основі заліза, кобальту і нікелю. Матеріал, що розпилюється, у вигляді порошку, дроту або шнура розплавляється

у киснево-ацетиленовому полум'ї, а потім прискорюється газоподібними продуктами згоряння при нанесенні на поверхню оброблюваної деталі (рис. 2.2).

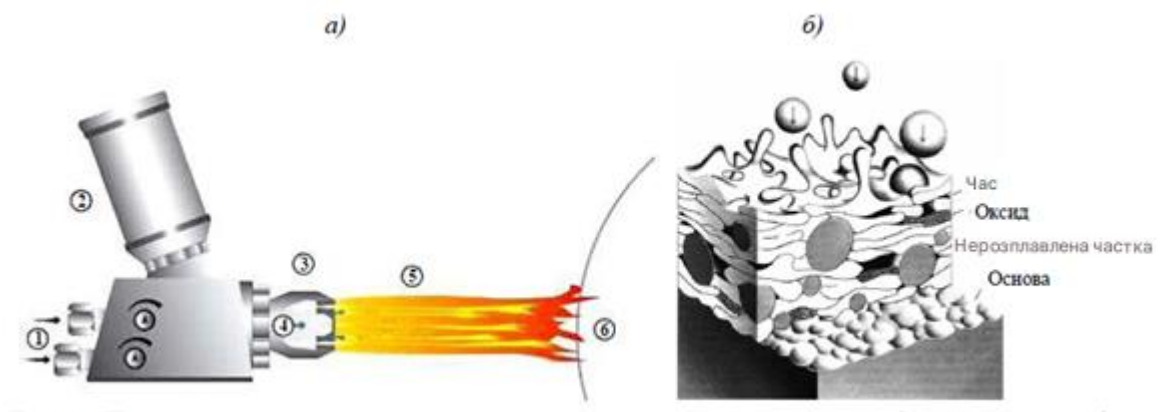


Рисунок 2.2 – Принципова схема газополум'яного напилення порошком (а: 1 – кисень/ацетилен; 2 – контейнер із порошком; 3 – пальник; 4 – порошок + газ; 5 - ацетилен-кисневе полум'я і напилювні частинки; 6 – деталь) та схема формування напиленого покриття (б)

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



Рисунок 2.3 – Нанесення газоплазмового покриття

З бункерного пристрою порошок надходить у пальник з потоком газової суміші, що транспортує (кисень і горючий газ) і потрапляє в полум'я пальника. Розплавлені частинки порошку, що захоплюються струменем пального газу, з високою швидкістю ударяються об поверхню, що напилюється, деформуються і, миттєво охолоджуючись, конденсуються на нерівностях підкладки. Так, при нанесенні декількох шарів покриття, зносостійке покриття досягає необхідної величини. В даний час існують автоматизовані пристрої для покриття. У такому обладнанні порошок подається в полум'я під тиском уздовж осі пальника зі спеціалізованих порошкових живильників, що мають високу точність дозування.

До переваг методу можна віднести:

- Низьку вартість;
- зручність та варіативність застосування;
- Виконання напилення покриттів на внутрішні поверхні з діаметром не менше 100 мм і на глибину не більше калібру отвору;
- Доступність порошкових матеріалів;
- Незначний вплив на довкілля.

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Основним недоліком даного методу є пористість одержуваних покриттів на рівні не менше ніж 5%.

2.1.2 Високошвидкісне газополум'яне напилення

Метод високошвидкісного газополум'яного напилення [21] є одним з різновидів газополум'яного напилення. Основна відмінність обладнання для такого напилення – це наявність реактивного сопла (сопло Лавалья), яке дозволяє досягти надзвукової швидкості струменя гарячих газів (рис. 3). Збільшення швидкості потоку струменя в установках високошвидкісного газополум'яного нанесення покриттів дає можливість знизити пористість покриття.

В даний час найбільш підходящою альтернативою хромування можна вважати високошвидкісне газополум'яне напилення карбіду вольфраму. У цього методу швидкість частинок у потоці сягає 450–1000 м/с – приблизно 2 разу більше, ніж в інших методів газополум'яного напилення. Наприклад, у покриття зі WC-10Co-4Cr твердість може досягати 1400 HV300. Висока твердість, адгезійна міцність, низька пористість покриттів, одержуваних методом високошвидкісного напилення, забезпечують можливість їх застосування в агресивних середовищах за підвищеної температури в енергетиці, металургії та авіації. Дані покриття застосовуються в різних деталях літака – шасі, гідравлічних циліндрах, підшипниках реактивних двигунів, валах турбін та ін.

Корозійностійкі покриття, одержувані методом високошвидкісного напилення, повністю замінять покриття, нанесені при хромуванні, оскільки вони забезпечують кращий захист від ударного навантаження, зносу та втоми при порівнянні захисту від корозії.

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

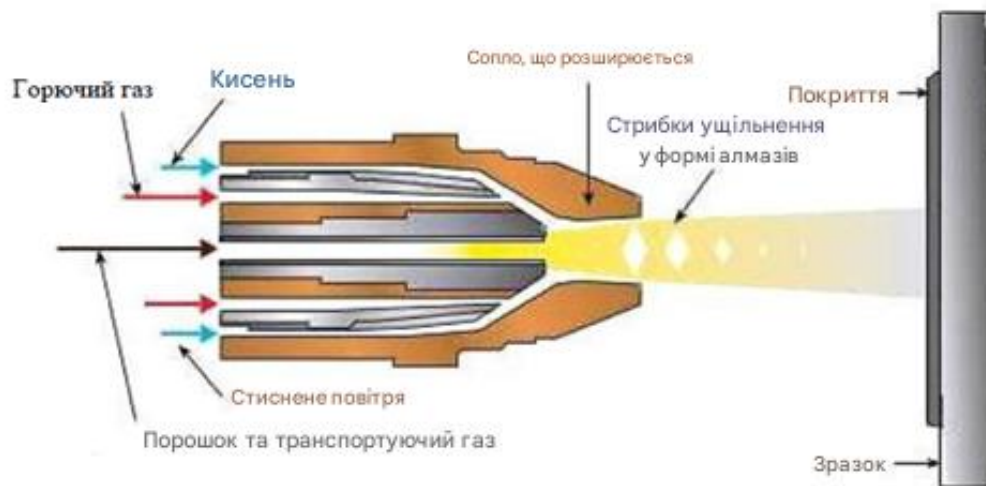


Рисунок 2.4 – Принципова схема високошвидкісного газополум'яного напилення

2.1.3 Метод детонаційного напилення

Основними елементами обладнання для нанесення покриттів методом детонаційного напилення є камера згоряння та водоохолоджуваний стовбур. До камери подається ацетилен-киснева суміш (у деяких випадках можлива подача пропану та азоту) у певному співвідношенні. Через технологічний отвір у стовбурі потоком азоту подається певна кількість порошку, що напилюється. За допомогою електричної іскри підпалюється газова суміш, а потім вона вибухає (детонує). Розігріті від ударної хвилі частинки розганяються до швидкостей >800 м/с і нагріваються до температури близько $1400-1700$ °С. При їх попаданні на поверхню порошок, що напилюється, пластично деформується, додатково нагріваючись до температур порядку 4000 °С. Періодичність повторення процесу – три-чотири постріли на секунду. Принципова схема процесу детонаційного напилення представлена на рис. 2.5.

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

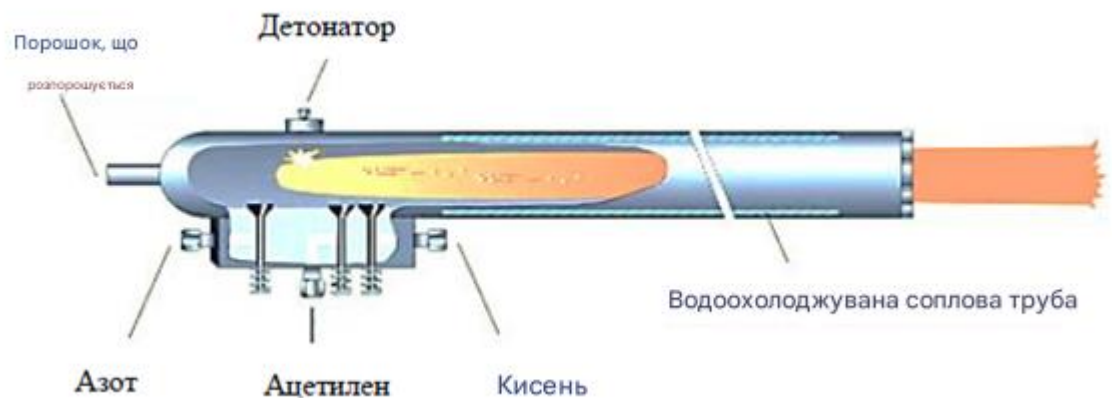


Рисунок 2.5 – Принципова схема процесу детонаційного напилення

При детонаційному напиленні можна отримувати покриття з будь-яких матеріалів – тугоплавких сполук, оксидів та ін. Так, для отримання зносостійких покриттів з метою відновлення деталей застосовують оксид алюмінію Al_2O_3 , сплави, що самофлюсуються марок ПГ-СР, СНГН, ВСНГН (містить 65 %).

2.1.4 Плазмове напилення

При плазмовому напиленні між вольфрамовим катодом і мідним водоохолоджуваним анодом (соплом) збуджується електрична дуга, що нагріває робочий газ, внаслідок чого він спливає із сопла у вигляді плазмового струменя. Порошковий матеріал, що подається в плазмовий струмінь потоком газу, що транспортує (аргону або азоту), з великою енергією вдаряється об поверхню оброблюваної деталі. Завдяки високим температурам при плазмовому напиленні можна наносити тугоплавкі матеріали. Крім того, регулювання температури та швидкості плазмового струменя дозволяє розширити номенклатуру матеріалів, що наносяться. Принципова схема процесу плазмового напилення представлена на рис. 2.6 [22].

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

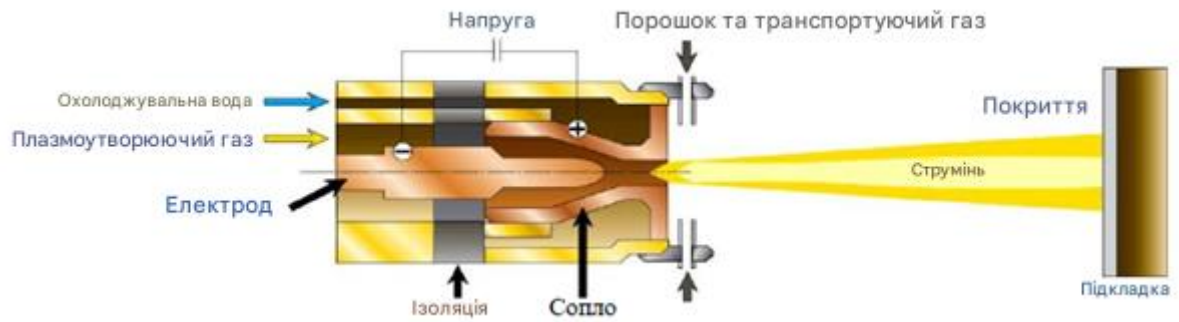


Рисунок 2.6 – Принципова схема процесу плазмового напилення

Плазмове напилення залежно від тиску в камері напилення поділяють на атмосферне плазмове напилення, плазмове напилення при зниженому тиску та вакуумне плазмове напилення. Плазмовими методами наносять широку номенклатуру матеріалів: металеві сплави систем $Me-Cr-Al-Y$, металокерамічні композиції типу $MeC-NiCr/Co$, покриття на основі оксидів типу $Al_2O_3/ZrO_2-Y_2O_3$.

2.1.5 Методи отримання порошкових матеріалів для газотермічного напилення

Технологічність порошкового матеріалу, що застосовується при газотермічному

напиленні впливає на якість одержуваного покриття, а також на коефіцієнт використання матеріалу при напиленні. За високого показника сферичності частки

порошки мають невисоке значення кута розльоту від осі потоку. Таким чином, чим вище їх швидкість і температура при підльоті до поверхні деталі, тим щільніше одержуване покриття. Форма частинок, їхня структура, а також пористість обумовлюються методом виготовлення (рис. 2.7).

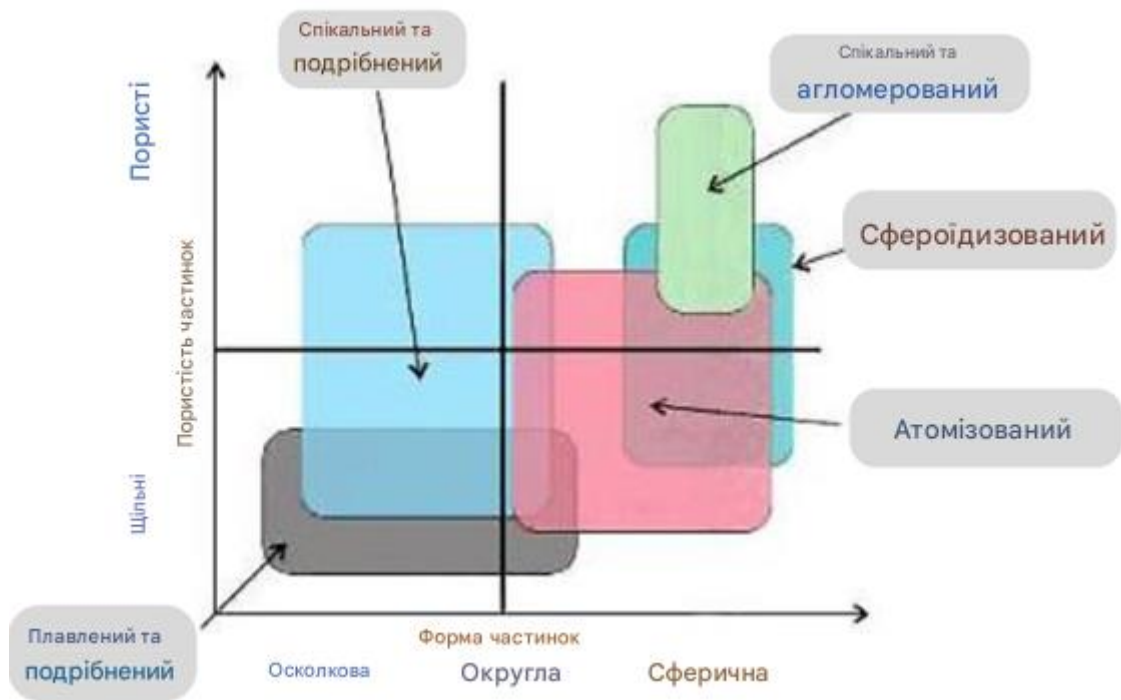


Рисунок 2.7 – Залежність пористості та форми частинок від методу виготовлення матеріалів

Існує кілька методів, які широко застосовуються в порошковій металургії, для отримання композиційних порошків систем WC-Co, WC-Co-Cr і Cr₃C₂-NiCr, що використовуються при газотермічному напиленні. Для порошків на основі карбідів вольфраму та хрому застосовують методи іскрового плазмового спікання, розпилювального сушіння [23] та механічного легування.

Одержання порошкових композиційних частинок методом іскрового плазмового спікання. Процес одержання композиційних порошків методом іскрового плазмового спікання полягає в механічному перемішуванні порошків, їх іскровому плазмовому спіканні до отримання компактного матеріалу та його механічному розмелюванні. Таким чином одержують композиційні частинки на основі карбиду вольфраму (рис. 2.8). Щільність такого матеріалу залежить від температури та швидкості спікання. Чим вище температура нагріву, тим щільніше спечений матеріал і більша мікротвердість.

Метод одержання металокерамічних порошків на основі карбідів вольфраму та хрому з використанням розпилювального сушіння

Для цього методу застосовуються порошки з розміром частинок <math><5\text{ мкм}</math>, подрібнені в планетарному млині. Після цього відбувається підготовка суспензії, що містить задані масові частки порошкових компонентів. Як робоче середовища застосовують розчин води та полівінілового спирту. Далі відбувається розпилення суспензії з використанням форсунки, в результаті чого за рахунок сил поверхневого натягу утворюються сферичні частинки, які обробляються гарячим повітрям або інертним газом. Внаслідок чого вода випаровується, відбувається процес сушіння та вдається отримати металокерамічний порошок з частинками, що мають високу пористість – до 40 % (рис. 2.10).

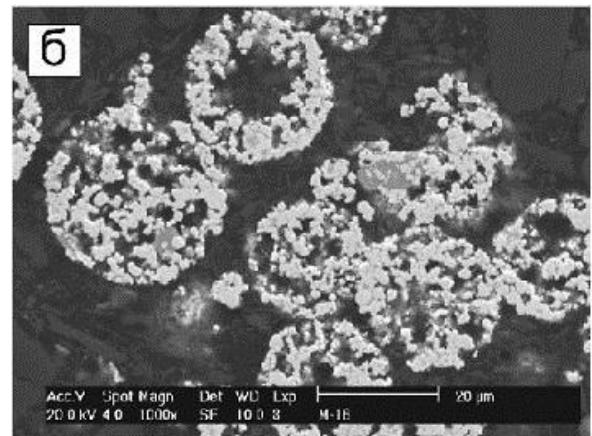
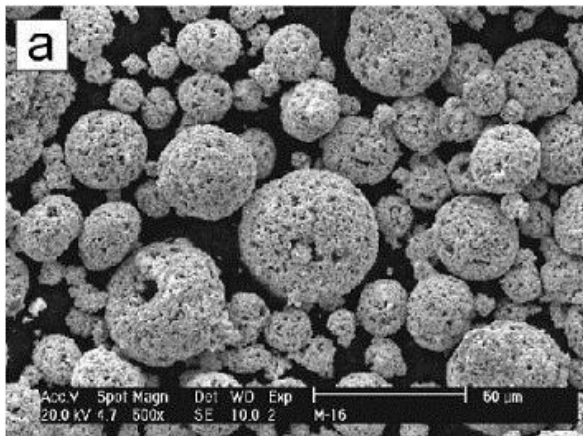


Рисунок 2.10 – Металокерамічні частинки складу WC-15% (Ni₂₃Cr₁₆Mo₁0Fe), отримані в результаті розпилювального сушіння [27]: а – морфологія поверхні частинок; б – поперечний шліф частинок

В результаті розпилення з одночасною сушкою підготовленої суспензії утворюються металокерамічні частинки сферичної форми, каркас яких сформований карбідами (рис. 2.11).

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

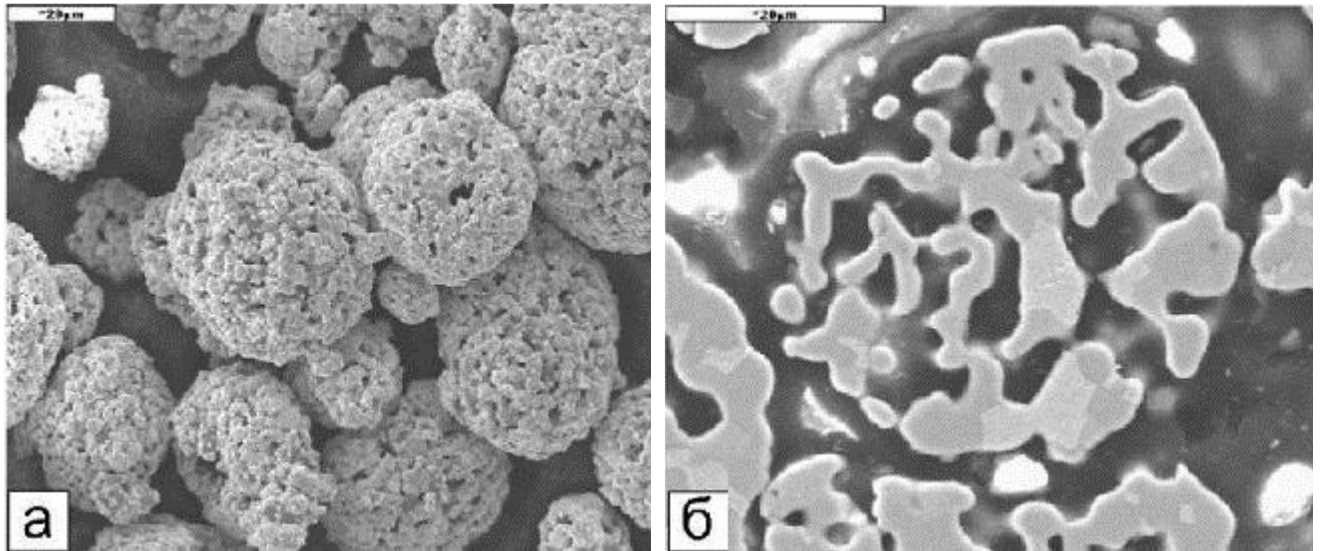


Рисунок 2.11 – Металокерамічні частинки складу 75% Cr₃C₂–25% (Ni₂₀Cr), отримані методом розпилювального сушіння [28]: а – морфологія поверхні частинок; б – поперечний шліф частинок

2.1.7 Механічне легування (механоактивація)

Як альтернатива технології розпилювального сушіння для отримання композиційних порошків може бути розглянута технологія механічного легування. Цей процес полягає у змішуванні елементів або лігатур (у вигляді порошку) з необхідною дисперсною фазою. Змішування компонентів відбувається у спеціальних високоенергетичних кульових млинах – атриторах (рис. 11). В результаті одержують композиційні порошки, що складаються з однорідної гомогенної суміші всіх компонентів.

Механічне легування є процес повторюваного міжчасткового зварювання («холодне зварювання») і розшаровування поблизу кулястих поверхонь частинок при їх інтенсивному зіштовхуванні доти, поки досягається стабільний стан (рис. 2.12).

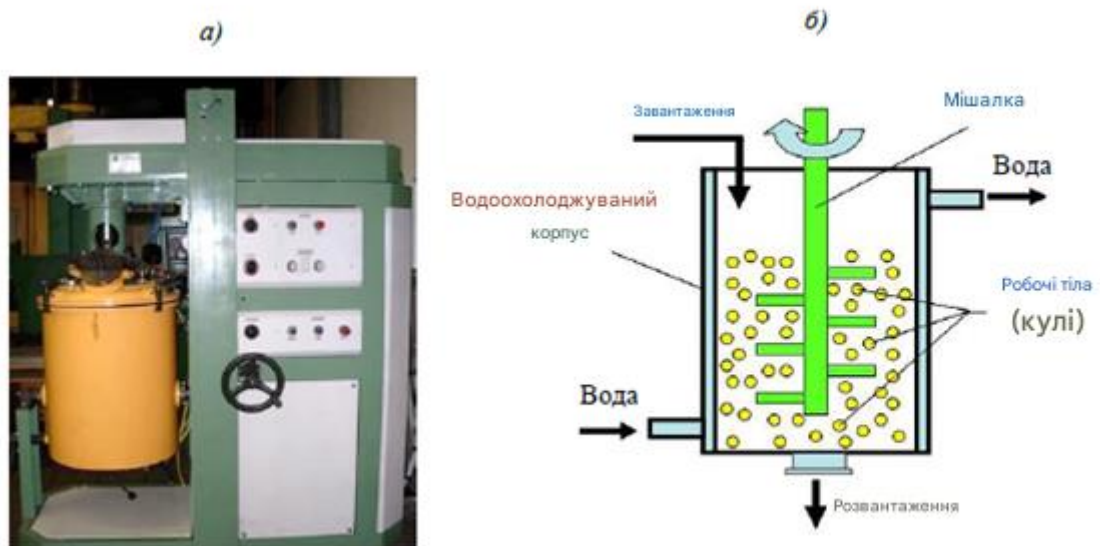


Рисунок 2.12 - Мал. 11. Зовнішній вигляд атритора (а) та його принципова схема роботи (б)

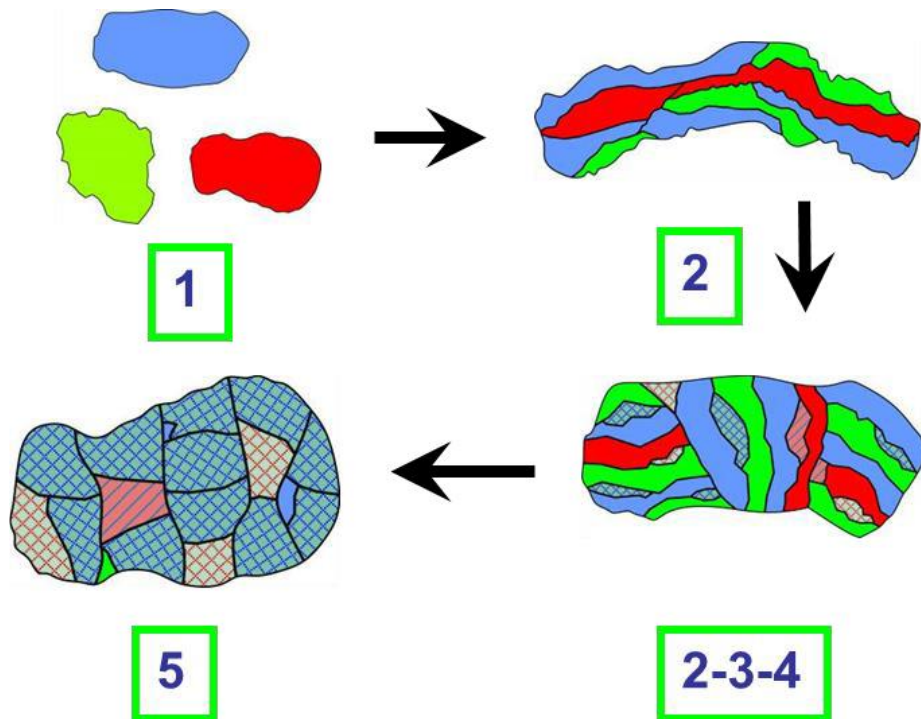


Рисунок 2.13 – Утворення композиційних частинок із порошків вихідних металів: 1 – вихідна суміш порошків металів, лігатур; 2 – «холодне зварювання» компонентів шихти на кулясту поверхню частинок; 3 – перерозподіл складових та гомогенізація; 4 - скол композиційних частинок з кулястої поверхні; 5 – порошок металу

На рис. 2.14 показано типову структуру композиційного порошку, отриманого в процесі механічного легування.

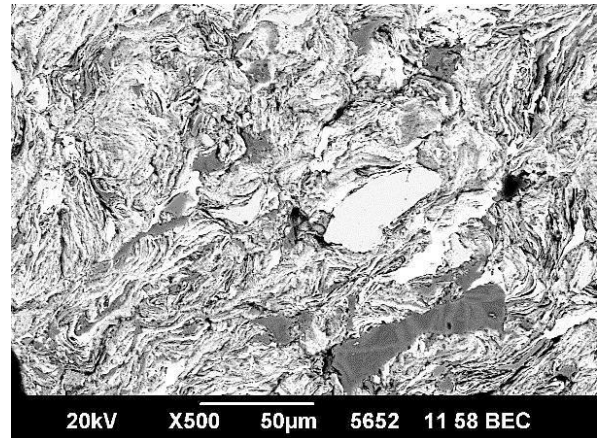
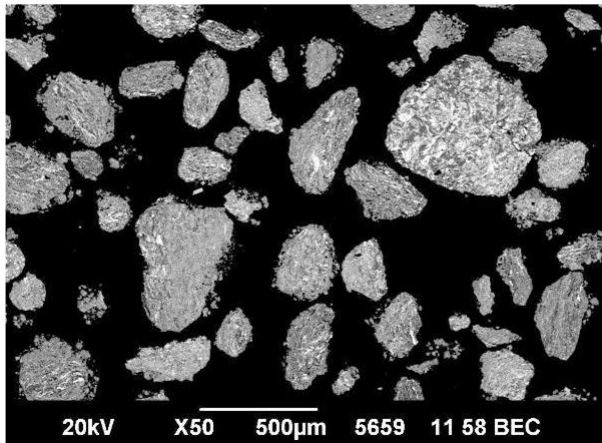


Рисунок 2.14 – Мікроструктура композиційних гранул після обробки в атриторі: а – зовнішній вигляд; б – окрема частка

Важливим недоліком методу і те, що частинки композиційного порошку виходять несферичної форми. Зазначений недолік може бути усунений шляхом проведення плазмової сфероїдизації.

Висновки до розділу 2

Розглянуто різні способи металізації поверхонь деталей з метою відновлення розмірних параметрів та покращення їх трибологічних характеристик.

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНОГО МЕТОДОМ ГАЗОПОЛУМ'ЯНОГО ПОКРИТТЯ

3.1 Матеріали та методи

Однією з важливих характеристик порошку є розмір частинок вольфраму карбіду, що використовуються при виготовленні композиційних порошоків. Наприклад, відомо, що при використанні нанорозмірних частинок карбіду вольфраму відповідні покриття мають більш високу твердість і зносостійкість [29-32].

Параметри покриття також впливають на характеристики покриттів.

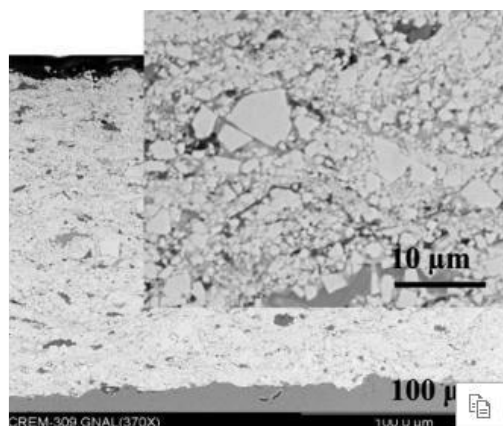
Геометрична форма частинок порошку може впливати на мікроструктуру одержуваного покриття. У роботі [33] розглянуті покриття системи WC-Co-Cr, нанесені з двох різних порошоків з різною геометричною формою частинок, а також з вихідним розміром частинок карбіду вольфраму у вигляді порошку з осколковою частинками (для покриття А) і сферичної форми (для покриттів В і В'). Покриття наносили на низьколеговану сталь шляхом високошвидкісного напилення. Вплив параметрів процесу нанесення покриття на мікроструктуру та властивості покриття вивчено з використанням двох режимів – з високоентальпійним (для покриттів А та В) та низькоентальпійним полум'ям (для покриття В'). Для порівняння розглянуто покриття, одержане гальванічним хромуванням.

Параметри процесу для трьох різних варіантів покриттів наведено в табл. 3.1. Перед нанесенням покриття зразки піддавали піскоструминній обробки.

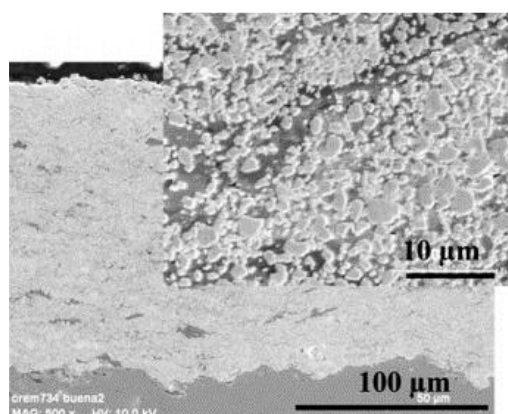
Таблиця 3.1 – Параметри процесу високошвидкісного напилення

Покриття	Режим	Витрата O ₂ , л/хв	Витрата H ₂ , л/хв	Витрата N ₂ , л/хв	Витрата порошка, г/хв	Дистанція напилення, мм	Швидкість переміщення, мм/с
А	1	214	344	635	38	230	1256
В		214	344	635	38	230	1256
В'	2	214	600	360	38	230	1256

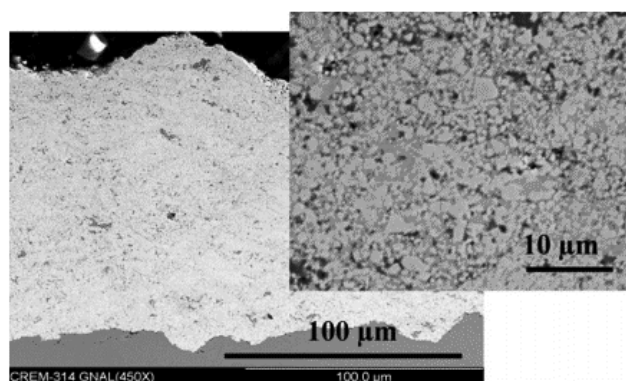
Мікроструктури покриттів А, В і В' показано на рис. 3.1.



а)



б)



в)

Рисунок 3.1 – Мал. 14. СЕМ-зображення покриттів системи WC-Co-Cr, нанесених за допомогою високошвидкісного напилення: а - покриття, отримане з порошку осколкової форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; б – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; в – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує низькоентальпійне полум'я

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

За отриманими зображеннями проведено аналіз пористості та фазового складу покриттів. Відповідні результати представлені у табл. 3.2 та на рис. 3.2.

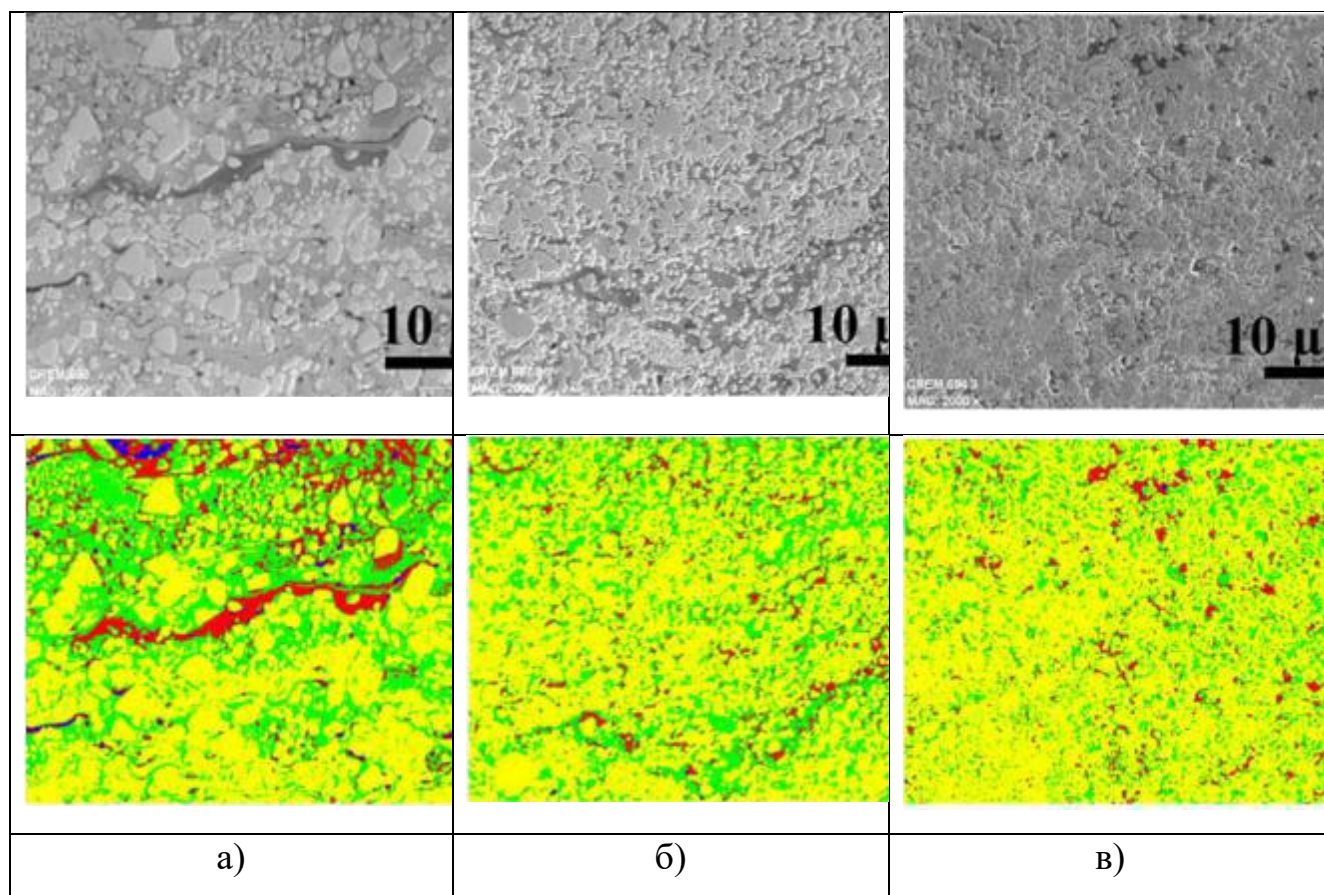


Рисунок 3.2 – Мал. 15. Зразки, використані для аналізу фазового зображення покриттів системи WC-Co-Cr, нанесених методом високошвидкісного напилення: а - покриття, отримане з порошку осколкової форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; б – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; в – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує низькоентальпійне полум'я

На рис. 3.2 помітні чотири типи фаз:

1 – на I – у вигляді світлих частинок карбіду вольфраму з незграбними краями і, отже, не розплавлених під час нанесення; на II – жовтий колір;

2 – на I – сіра зона у вигляді твердого розчину Cr, W та C у Co; на II – зелений колір;

3 – на I – темні великі «агломерати» також усередині матриці, твердий розчин C у Cr; на II – червоний колір;

4 – на I, а – чорні пори; на II, а синій колір.

В результаті енергодисперсійного аналізу виявлено значну кількість вуглецю, у зв'язку з чим можна стверджувати, що в результаті напилення не відбулося дисоціації карбиду вольфраму з утворенням летких сполук вуглецю. Пористість покриттів у всіх випадках незначна, проте найменшими значеннями пористості мають покриття, отримані з порошку сферичної форми з дрібнішими частинками вихідних карбідів. Відносний вміст карбиду вольфраму в покритті відповідає ряду: осколкова форма < сферична форма/високоентальпійне полум'я < сферична форма/низькоентальпійне полум'я, незважаючи на ідентичний зміст до процесу напилення.

На рис. 3.3 для порівняння показана мікроструктура гальванічного хромового покриття, що використовується як зразок. Спостерігається сітка дрібних тріщин (у ряді наскрізних випадків), ступінь пористості становить 0,6 %.

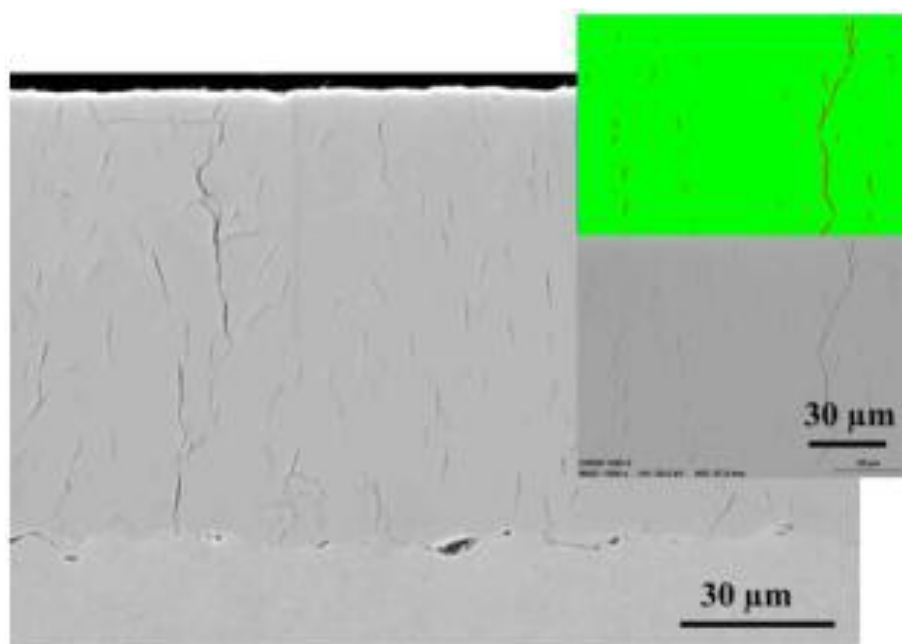


Рисунок 3.3 – Мал. 16. СЕМ-зображення поперечного перерізу зразка з гальванічним хромовим покриттям

Поверхні матеріалів з покриттями на основі карбідів вольфраму і хрому, отриманими методом високошвидкісного напилення, мають високу твердість (>70 HRC) і адгезію (>80 МПа). Ці покриття можуть бути отримані товщиною до 1000 мкм, не призводять до нанодорожування металу та утворення флокенів у сталях, мають хімічну стійкість у багатьох агресивних середовищах.

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Високошвидкісне напилення забезпечує можливість нанесення захисних покриттів на титан і металокерамічні матеріали. Однак до недоліків даного методу слід віднести неможливість нанесення покриття на внутрішню поверхню деталей діаметром отвору <100 мм. Важливо, що будь-яке газотермічне покриття після нанесення вимагає фінішної механічної обробки (шліфування) для забезпечення заданого параметра шорсткості поверхні. Порівняльні характеристики газотермічного зносостійкого покриття на основі карбіду вольфраму та гальванічного хромового покриття представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.9 – Характеристики покриттів

Властивості	Значення властивостей для	
	газотермічного покриття на основі карбіду вольфраму	гальванічного хромового покриття
Твердість HRC	70	60–70
Міцність зчеплення, МПа	80	41
Пористість, %	1	–
Товщина покриття, мм	0,08	0,13
Шорсткість Ra	4	4
Корозійна стійкість, год	720	55
Жаростійкість, °C	500	400

Як очевидно з даних табл. 3, значення твердості покриття на основі вольфраму карбіду перевищує твердість гальванічного хромового покриття (70 і 60–70 HRC відповідно). Значення мікротвердості за Віккерсом газотермічних покриттів на основі карбідів вольфраму та хрому становлять 1050 та 750–850 відповідно.

Висновки до розділу 3

В даний час спостерігається тенденція щодо застосування альтернативних гальванічного хромування технологій нанесення захисних та зміцнювальних покриттів. Провідні виробники авіаційної техніки застосовують методи газотермічного напилення для забезпечення необхідних характеристик зносо- і

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

корозійної стійкості поверхні деталей, що захищаються. Основними матеріалами для нанесення зносо-корозійностійких покриттів є композиційні металокерамічні порошкові матеріали систем WC-Co, WC-Co-Cr та Cr₃C₂-NiCr. З усієї різноманітності методів газотермічного напилення найбільш поширеним є метод високошвидкісного напилення, так як за сукупністю характеристик продуктивності та властивостей одержуваних покриттів перевершує покриття, одержувані методами газополум'яного, плазмового та детонаційного напилення.

В огляді розглянуто основні методи одержання порошкових композиційних матеріалів для нанесення покриттів. Виявлено основні характеристики порошкових матеріалів, що впливають на якість одержуваних покриттів: форма частинок та рівномірність розподілу карбідів у частинці. Найбільш поширеним способом отримання композиційних металокерамічних порошоків для промислового застосування є розпилювальне сушіння – за рахунок сферичності одержуваних частинок, рівномірності розподілу карбідів усередині однієї частинки та високої продуктивності.

Розглянуто також покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці. В результаті показано, що найкращими характеристиками має покриття, отримане з порошку сферичного при нанесенні в низькоентальпійном тепловому потоці.

В цілому, незважаючи на деякі технологічні недоліки, методи газотермічного напилення (особливо високошвидкісного напилення) покриттів на основі систем WC-Co, WC-Co-Cr і Cr₃C₂-NiCr в даний час широко застосовуються при нанесенні зносо-корозійностійких покриттів замість гальванічного хромування і мають більш високі експлуатаційні властивості.

Подальший розвиток методу газотермічного напилення пов'язаний із удосконаленням способів виготовлення матеріалів для нанесення покриттів (композиційних металокерамічних порошоків) та застосуванням плазмової сфероїдизації для порошоків осколкової форми, одержаних механічним легуванням (механоактивацією).

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ НАНЕСЕННІ ГАЗОПОЛУМ'ЯНИХ ПОКРИТТІВ

Основну небезпеку під час використання газополуменевого обладнання становить кисень. Тому необхідно, щоб безпека й правильна експлуатація були пріоритетами у застосуванні такого обладнання. Уважно прочитайте цей буклет, перш ніж почати використовувати обладнання для газокисневого зварювання, різання, паяння чи нагрівання. Знання правил безпеки й способів безпечної експлуатації дозволяє насолоджуватися роботою, а значить виконувати її з більшою ефективністю.

До проведення робіт, пов'язаних із газополуменим обробленням матеріалів, допускаються особи, яким вже виповнилось 18 років, які пройшли відповідне медичне обстеження, навчання, інструктаж та перевірку знань із техніки безпеки.

Кожен, хто стає до роботи, має бути проінструктований щодо техніки безпеки та пожежної безпеки, проінформований про запобіжні заходи, засоби індивідуального захисту й особистої гігієни.

4.1 Робоче місце

Видалити із зони робіт усі легкозаймісті, горючі та вибухонебезпечні речовини (дерев'яні предмети й стружку, папір, віхоть, гас, бензин тощо).

Виконання газонебезпечних робіт має здійснюватися на відстані:

Таблиця 4.1 – Відстань до вогнебезпечних предметів

Від переносних генераторів	Не менше ніж 10 м
Від газопроводів	1,5 метра
Від окремих балонів із киснем та горючими газами	5 метрів
Від газорозбірних постів, розміщених у металевих шафах:	
- для ручних робіт	3 метри
- для механізованих робіт	1,5 метра

У разі виявлення витoku кисню чи горючого газу з трубопроводів і газорозбірних постів та за неможливості швидкого усунення несправностей пошкоджену ділянку треба відключити.

Для живлення обладнання від газопроводу з тиском газу понад 0,15 МПа (1.5

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

кгс/см²) установіть на газопроводі мережевий редуктор для зниження тиску газу.

Для живлення від поодиноких балонів між балонними редукторами й інструментом (пальником, різак) рекомендуємо встановити вогнеперешкодні клапани.

Поодинокі балони мають бути закріплені або вкладені на візок.

У разі направлення полум'я та іскор у бік джерел живлення газами - вжити заходів із захисту їх від іскор та впливу тепла полум'я, установивши металеві ширми.

Прибирання робочих місць здійснювати протягом усього робочого дня (за необхідності) та після закінчення робіт.

Для охолодження пальника (різака) на робочому місці має бути ємність (наприклад, відро) з чистою холодною водою.

Під час довгих перерв у роботі закрити вентилі на газорозбірному пості, арматурі й балонах, а регулювальний гвинт редуктора вивернути до звільнення натискної пружини.

У разі замерзання редукторів відігрівання здійснювати гарячою водою, а кисневого редуктора - водою, яка не має слідів мастил.

У разі використання ручної апаратури забороняється приєднання до рукавів вилок, трійників тощо для живлення декількох пальників (різаків).

Закріплення рукавів на приєднувальних ніпелях пальників (різаків) потрібно робити за допомогою спеціальних хомутів. Допускається обв'язування рукава м'яким в'язальним дротом не менше ніж у двох місцях по довжині ніпеля (використання мідного дроту не допускається).

В обов'язковому порядку перевірити:

- герметичність приєднання рукавів до пальника, різака, редуктора, запобіжного пристрою та іншої апаратури;
- роботоздатність інжектора. У разі відсутності розрідження в газовому каналі (інжекції) працювати з обладнанням забороняється;
- щільність (герметичність) з'єднань різака (пальника). Використовувати відкритий вогонь для визначення нещільностей заборонено. Якщо виявлено пропускання газу, працювати з пальником (різаком) заборонено;

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- технічний стан редуктора (здійснюється до установки на балон чи магістраль). Перевіряти на відсутність механічних пошкоджень на корпусі та манометрах; на наявність дати перевірки манометрів; на наявність та стан прокладок і фільтрів. Несправні манометри мають бути замінені. Використовувати несправний редуктор категорично забороняється!
- герметичність редуктора. У разі виявлення витoku й нещільностей працювати з редуктором заборонено!
- стан і правильне розташування запобіжних пристроїв. Живлення від поодиноких балонів без запобіжних засобів забороняється!
- технічний стан рукавів. Підмотування ізоляційною стрічкою в разі порушення цілісності рукава забороняється! Рукави мають бути відповідного кольору або мати відмітні кольорові смуги;
- джерело живлення. За паспортними даними перевірити дату атестації балона.
Працювати від балонів із протермінованим строком огляду заборонено.
Перш ніж під'єднати редуктор до вентиля балона, необхідно перевірити:
 - наявність пломб або інших позначок (фарбою) на запобіжному клапані, що свідчить про те, що заводське (або післяремонтне) регулювання не порушене;
 - справність манометра і строк його перевірки;
 - стан нарізі штуцерів;
 - відсутність мастила на поверхні прокладок та приєднувальних вузлів кисневих редукторів;
 - наявність прокладок на входному штуцері редуктора, а на ацетиленових балонах - наявність прокладки у вентилях;
 - наявність фільтріву входних штуцерах;
 - перед установкою редуктора вентиль балона треба продути впродовж 1-2 секунд, але не можна перебувати перед струменем газу, що виходить;

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- закривання вентиля після продування здійснювати без застосування ключа, а вентиль ацетиленового балона закривати спеціальним ключем;
- приєднуючи редуктор до вентиля балона чи газорозподільної мережі, маєте вивернути регулювальний гвинт редуктора до повного звільнення натискної пружини.

Забороняється:

Продовжувати працювати в разі виникнення зворотного удару полум'я або якщо неможливо регулювати склад полум'я горючого газу, а також у разі виявлення несправності апаратури, приладів та захисних засобів, порушень кріплення балонів.

- Під час роботи тримати рукави на плечах, ногах, під пахвами чи обмотаними навколо пояса.
- Пересуватися із запаленим полум'ям пальника (різака). Виконувати зварювання або різання посудин, які перебувають під тиском або містять вибухові речовини.
- Залишати пальник (різак) із запаленим полум'ям у разі вимушеного припинення роботи або віддалення робітника від робочого місця.

4.2 Засоби індивідуального захисту

Під час проведення газополумєневих робіт застосовують засоби індивідуального захисту:

- для захисту тіла від бризок шлаку й розтопленого металу вдягають костюм зварника;
- для захисту стоп ніг узують черевики зварника;
- для захисту органів зору використовують окуляри газозварника, за необхідності - захисні маски або щитки;
- у разі необхідності для захисту органів слуху застосовують навушники;
- у разі необхідності для захисту органів дихання використовують респіратор.

					МР. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі: «Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей автомобілів в умовах Комунального підприємства “Електроавтотранс”, м. Івано-Франківськ.». Наведено характеристики автомобіля автобуса Богдан А70132. Наведено приклади швидкозношуваних деталей.

В розділі 2 проаналізовано існуючі методи та фізичні принципи отримання газополум'яних покриттів. Вказано на основні їх переваги та недоліки.

В розділі 3 проаналізовано результати дослідів, на основі чого зроблено наступні висновки:

Найбільш поширеним способом отримання композиційних металокерамічних порошків для промислового застосування є розпилювальне сушіння – за рахунок сферичності одержуваних частинок, рівномірності розподілу карбідів усередині однієї частинки та високої продуктивності.

Розглянуто також покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці. В результаті показано, що найкращими характеристиками має покриття, отримане з порошку сферичного при нанесенні в низькоентальпійном тепловому потоці (в тому числі низька пористість).

У розділі 4 описані правил охорони праці. Проведено розрахунок заземлення установки для електродугової металізації. Дотримання даних правил має велике значення для збереження життя та запобігання травматичним ситуаціям.

Результати роботи запропоновані керівництву підприємства для впровадження у виробничий процес.

					MP. ATm – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Matthews S., James B., Hyland M. High temperature erosion–oxidation of Cr₃C₂–NiCr thermal spray coatings under simulated turbine conditions // Corrosion Science. 2013. No. 70. P. 203–211.
2. Kaur M., Singh H., Prakash S. Surface engineering analysis of detonation-gun sprayed Cr₃C₂–NiCr coating under high-temperature oxidation and oxidation–erosion environments // Thermal Spray Technology. 2008. No. 18 (4). P. 619–631.
3. Barbezat G., Nicoll A.R., Sickinger A. Erosion and scuffing resistance of carbide and oxide ceramic thermal sprayed coatings for different applications // Wear. 1993. No. 162–164. P. 529–537.
4. Thakur L., Arora N., Jayaganthan R., Sood R. An investigation on erosion behavior of HVOF sprayed WC–CoCr coatings // Applied Surface Science. 2011. No. 258. P. 1225–1234.
5. Kamal S., Jayaganthan R., Prakash S. Evaluation of cyclic hot corrosion behaviour of detonation gun sprayed Cr₃C₂–25 % NiCr coatings on nickel- and iron-base superalloys // Surface and Coatings Technology. 2009. No. 203. P. 1004–1013.
6. Matthews S., James B., Hyland M. The role of microstructure in the high temperature oxidation mechanism of Cr₃C₂–NiCr composite coatings // Corrosion Science. 2009. No. 51. P. 1172–1180. of Structural Steel 20GL after Electrolytic-Plasma Hardening of the Surface. J. Surf. Investig. X-Ray Synchrotron Neutron Tech. **2021**, 15, 408–413. [[CrossRef](#)]
7. Wirojanupatump S., Shipway P.H., McCartney D.G. The influence of HVOF powder feedstock characteristics on the abrasive wear behaviour of Cr_xC_y–NiCr coatings // Wear. 2001. No. 249. P. 829–837.
8. Sidhu T.S., Prakash S., Agrawal R.D. Hot corrosion studies of HVOF sprayed Cr₃C₂–NiCr and Ni–20Cr coatings on nickel-based superalloy at 900 °C // Surface and Coatings Technology. 2006. No. 201. P. 792–800.
9. Murthy J.K.N., Venkataraman B. Abrasive wear behavior of WC–CoCr and Cr₃C₂–20(NiCr) deposited by HVOF and detonation spray processes // Surface and Coatings Technology. 2006. No. 200. P. 2642–2652.

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

10. He J.H., Ice M., Schoenung M. et al. Thermal stability of nanostructured Cr₃C₂-NiCr coatings // Thermal Spray Technology. 2001. No. 10. P. 293–300.
11. Stein K.J., Schorr B.S., Marder A.R. Erosion of thermal spray MCr-Cr₃C₂ cermet coatings // Wear. 1999. No. 224. P. 153–159.
12. Li C.J., Wang Y.Y., Ohmori G.J.A., Khor K.A. Effect of solid carbide particle size on deposition behavior, microstructure and wear performance of HVOF cermet coatings // Materials Science and Technology 2004. No. 20. P.1087–1096.
13. Sidhu T.S., Prakash S., Agrawal R.D. Characterizations and Hot corrosion resistance of Cr₃C₂-NiCr coatings on nickel-based superalloy in aggressive environment // Thermal Spray Technology. 2006. No. 15 (4). P. 811–816.
14. Guilemany J.M., Fernandez J., Delgado J. et al. Effects of thickness coatings on the electrochemical behavior of thermal spray Cr₃C₂-NiCr coatings // Surface and Coatings Technology. 2002. No. 153. P. 107–113.
15. Chatha S.S., Sidhu H.S., Sidhu B.S. High temperature hot corrosion behavior of NiCr and Cr₃C₂-NiCr coatings on T91 boiler steel in an aggressive environment at 750 °C // Surface and Coatings Technology. 2012. No. 206. P. 3839–3850.
16. Kamal S., Jayaganthan R., Prakash S. High temperature oxidation studies of detonation-gunsprayed Cr₃C₂-NiCr coating on Fe- and Ni-based superalloys in air under cyclic condition at 900 °C // Journal of Alloys and Compounds. 2009. No. 472. P. 378–389.
17. Sidhu T.S., Prakash S., Agrawal R.D. Studies of the metallurgical and mechanical properties of high velocity oxy-fuel sprayed satellite-6 coating on Ni and Fe based superalloys // Surface and Coatings Technology. 2006. No. 201. P. 273–281.
18. Shukla V.N., Jayaganthan R., Tewarib V.K. Degradation Behavior of HVOF-Sprayed Cr₃C₂-25 % NiCr Cermet Coatings Exposed to High Temperature // Materials Today: Proceedings. 2015. Vol. 2. Issue 4. P. 1805–1813.
19. Picas J.A., Xiong Y., Punset M. Microstructure and wear resistance of WC-Co by three consolidation processing techniques // Journal of Refractory Metals & Hard Materials. 2009. No. 27. P. 344–349.

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

20. Rakesh B. Development of erosion corrosion resistant HVOF Sprayed Cr₃C₂-NiCr coatings for boiler tube steels operating at elevated temperatures. Punjabi University, 2013. 252 p.

21. Toma D., Brandl W., Marginean G. Wear and corrosion behaviors of thermally sprayed cermet coatings // Surface and Coatings Technology. 2001. Vol. 138. No. 2–3. P. 149–158.

22. Zimakov S., Kulu P., Goljandin D. et al. Microstructured cermet powders for HVOF spraying // Welding & Powder Metallurgy. 2005. Vol. 1. P. 1–8.

22. Kusumar, Nerlfi & Growney Publish Third Global Paint & Coatings Report, 2016–2021. Available online: https://www.coatingsworld.com/issues/2017-09-01/view_market-research/kusumgar-nerlfi-amp-growney-publish-third-global-p/ (accessed on 13 May 2025).

23. Pawlowski, L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, 2nd ed.; John Wiley & Sons, Ltd.: Chichester, UK, 2008. 3. Havrlisan, S.; Simunovic, K.; Vukelic, D. Modelling of abrasive wear of Ni-based self-fluxing alloy coatings by the application of experimental design. Tech. Gaz. 2006, 23, 1687–1693. [CrossRef].

24. Váz, R.; Tristante, R.; Pukasiewicz, A.; Capra, A.; Chicoski, A.; Filippin, C. Welding and thermal spray processes for maintenance of hydraulic turbine runners: Case studies. Soldag. Inspeção. 2021, 25, 2540. [CrossRef].

25. Vardavoulias, M. Industrial component restoration using thermal spray technologies. In Industrial Component Restoration Using Thermal Spray Technologies; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2023. [CrossRef]

26. Vernhes, L. Thin Coatings for Heavy Industry: Advanced Coatings for Pipes and Valves. Ph.D. Thesis, Université de Montréal, Montréal, QC, Canada, 2015. Available online: https://publications.polymtl.ca/1686/1/2015_LucVernhes.pdf (accessed on 21 September 2025).

27. Zhang, X.; Luo, T.; Liu, S.; Zheng, Z.; Wang, J.; Zheng, K.; Wang, S.; Chen, H. Microstructure and Corrosion Behavior of Fe-Based Austenite-Containing Composite Coatings Using Supersonic Plasma Spraying. Coatings 2023, 13, 694. [CrossRef]

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

28. Lee, C.-Y.; Lin, T.-J.; Sheu, H.-H.; Lee, H.-B. A study on corrosion and corrosion-wear behavior of Fe-based amorphous alloy coating prepared by high velocity oxygen fuel method. *J. Mater. Res. Technol.* 2021, 15, 4880–4895. [CrossRef]
29. Umanskyi, O.P.; Storozhenko, M.S.; Baglyuk, G.A.; Melnyk, O.V.; Brazhevsky, V.P.; Chernyshov, O.O.; Terentiev, O.E.; Gubin, Y.V.; Kostenko, O.D.; Martsenyuk, I.S. Structure and wear resistance of plasma-sprayed NiCrBSiC–TiCrC composite powder coatings. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2020, 59, 434–444. [CrossRef]
30. Abderrahmane, A.; Gaceb, M.; Cheikh, M.; LE Roux, S. Wear Behavior and Microstructure of Thermally Sprayed NiCrBSiFeC and Composite NiCrBSiFeC-WC(Co) Coatings. *Mater. Sci.* 2021, 27, 175–183. [CrossRef]
31. Kazamer, N.; Vălean, P.; Pascal, D.-T.; Muntean, R.; Mărginean, G.; Serban, V.-A. Development, optimization, and characterization of NiCrBSi-TiB₂ flame-sprayed vacuum fused coatings. *Surf. Coat. Technol.* 2021, 406, 126747. [CrossRef]
32. Monção, F.C.; Caliari, F.R.; Freitas, F.E.; Couto, A.A.; Augusto, A.; Lima, C.R.C.; Massi, M. Wear Resistance Evaluation of Self-Fluxing Nickel-Based Coating Deposited on AISI 4340 Steel by Atmospheric Plasma Spray. *Metals* 2024, 14, 532. [CrossRef]
33. Shieh, Y.-H.; Wang, J.-T.; Shih, H.C.; Wu, S.-T. Allowing and post-heat treatment of thermal sprayed coatings of self-fluxing alloys. *Surf. Coat. Technol.* 1993, 58, 73–78. [CrossRef]
34. Cha, S.C.; Gudenau, H.W.; Bayer, G.T. Comparison of corrosion behaviour of thermal sprayed and diffusion-coated materials. *Mater. Corros.* 2002, 53, 195–205. [CrossRef]
35. Mahesh, C. Multiscale abinitio simulation of Ni-based alloys: Real-space distribution of atoms in $\gamma + \gamma'$ phase. *Comp. Mater. Sci.* 2015, 108, 192–204.
36. Gagandeep, S.; Manpreet, K.; Rohit, U. Wear and friction behavior of NiCrBSi coatings at elevated temperatures. *J. Therm. Spray Technol.* 2019, 28, 1081–1102.
37. Afsous, M.; Shafyei, A.; Soltani, M.; Eskandari, A. Characterization and evaluation of tribological properties of NiCrBSi–Gr composite coatings deposited on stainless steel 420 by HVOF. *J. Therm. Spray Technol.* 2020, 29, 773–788. [CrossRef]

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

38. Tang, L.; Kang, J.; He, P.-F.; Ding, S.-Y.; Chen, S.-Y.; Liu, M.; Xiong, Y.-C.; Ma, G.Z.; Wang, H. Effects of spraying conditions on the microstructure and properties of NiCrBSi coatings prepared by internal rotating plasma spraying. *Surf. Coat. Technol.* 2019, 374, 625–633. [CrossRef]

39. García, A.; Fern'andez, M.R.; Cuetos, J.M.; Gonz'alez, R.; Ortiz, A.; Cadenas, M. Study of the sliding wear and friction behavior of WC + NiCrBSi laser cladding coatings as a function of actual concentration of WC reinforcement particles in ball-on-disk test. *Tribol. Lett.* 2016, 63, 41. [CrossRef]

40. Guo, C.; Zhou, J.; Chen, J.; Zhao, J.; Yu, Y.; Zhou, H. High temperature wear resistance of laser cladding NiCrBSi and NiCrBSi/WC/Ni composite coatings. *Wear* 2011, 270, 492–498. [CrossRef] 21. Xiao, J.-K.; Wu, Y.-Q.; Zhang, W.; Chen, J.; Wei, X.-L.; Zhang, C. Microstructure, wear and corrosion behaviors of plasma sprayed NiCrBSi-Zr coating. *Surf. Coat. Technol.* 2019, 360, 172–180. [CrossRef]

41. Xiao, J.-K.; Wu, Y.-Q.; Zhang, W.; Chen, J.; Wei, X.-L.; Zhang, C. Microstructure, wear and corrosion behaviors of plasma sprayed NiCrBSi-Zr coating. *Surf. Coat. Technol.* 2019, 360, 172–180. [CrossRef]

42. Gonzalez, R.; Garcia, M.A.; Penuelas, I.; Cadenas, M.; del Rocio Fernandez, M.; Hernandez Battez, A.; Felgueroso, D. Microstructural Study of NiCrBSi Coatings Obtained by Different Processes. *Wear* 2007, 263, 619–624. Available online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164807004061> (accessed on 25 September 2025). [CrossRef]

43. Li, Q.; Zhang, D.; Lei, T.; Chen, C.; Chen, W. Comparison of laser-clad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures. *Surf. Coat. Technol.* 2001, 137, 122–135. Available online: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897200007325> (accessed on 29 September 2025). [CrossRef]

44. Navas, C.; Colaco, R.; de Damborenea, J.; Vilar, R. Abrasive Wear Behaviour of Laser Clad and Flame Sprayed melted NiCrBSi Coatings. *Surf. Coat. Technol.* 2006, 200, 6854–6862. [CrossRef]

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

45. Kim, H.-J.; Hwang, S.-Y.; Lee, C.-H.; Juvanon, P. Assessment of Wear Performance of Flame Sprayed and Fused Ni-based Coatings. Surf. Coat. Technol. 2003, 172, 262–269. [CrossRef]

46. Hemmati, I.; Rao, J.C.; Ocelík, V.; De Hosson, J.T.M. Electron Microscopy Characterization of Ni-Cr-B-Si-C Laser Deposited Coatings. Microsc. Microanal. 2013, 19, 120–131. [CrossRef]

47. ASTM A108; Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2024.

48. ISO/TR 26946:2011; Standard Method for Porosity Measurement of Thermally Sprayed Coatings. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2011.

49. Górká, J.; Lont, A.; Poloczek, T. The Microstructure and Properties of Laser Cladded Ni Based Self Fluxing Alloy Coatings Reinforced by TiC Particles. Coatings 2025, 15, 527. [CrossRef]

50. Buitkenov, D.; Rakhadilov, B.; Nabioldina, A.; Mukazhanov, Y.; Adilkanova, M.; Raisov, N. Investigation of Structural Phase, Mechanical, and Tribological Characteristics of Layer Gradient Heat-Protective Coatings Obtained by the Detonation Spraying Method. Materials 2024, 17, 5253. [CrossRef]

51. Sagdoldina, Z.; Baizhan, D.; Sulyubayeva, L.; Berdimuratov, N.; Buitkenov, D.; Bolatov, S. Effect of Electrofriction Treatment on Microstructure, Corrosion Resistance and Wear Resistance of Cladding Coatings. Coatings 2024, 14, 1433. [CrossRef]

52. ASTM C633-15(2020); Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2020.

53. ISO 19403-2:2024; Paints and Varnishes—Wettability—Part 2: Determination of Surface Free Energy of Solid Surfaces by Measuring the Contact Angle. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2024.

54. ISO 6507-1:2018; Metallic Materials—Vickers Hardness Test—Part 1: Test Method. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2018.

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

55. Wang, Y.; Stella, J.; Darut, G.; Poirier, T.; Liao, H.; Planche, M.-P. APS prepared NiCrBSi-YSZ composite coatings for protection against cavitation erosion. *J. Alloys Compd.* 2017, 699, 1095–1103. [CrossRef]

56. Serres, N.; Hlawka, F.; Costil, S.; Langlade, C.; Machi, F. Microstructure and Environmental Assessment of Metallic NiCrBSi Coatings Manufactured via Hybrid Plasma Spray Process. *Surf. Coat. Technol.* 2010, 205, 1039–1046. [CrossRef]

57. Muzamil, M.; Iqbal, S.A.; Anwar, M.N.; Samiuddin, M.; Yang, J.; Raza, M.A. Wear Behavior assessment of new wire-arc additively manufactured surfaces on AA6061 and AA5086 alloys through multi-walled carbon nanotubes and Ni particles inducement. *Coatings* 2024, 14, 429. [CrossRef]

58. Miguel, J.M.; Guilemany, J.M.; Vizcaino, S. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes. *Tribol. Int.* 2003, 36, 181–187. [CrossRef]

59. Baydoun, S.; Moul-El-Ksour, F.Z.; Fouvry, S.; Guillonneau, G.; Pereira, J.C.; Santos, F.; Rocchi, J. Tribological investigation of new self-fluxing nickel alloys for high temperature application: The effect of silicon distribution on glaze layer formation. *Wear* 2025, 564, 205631. [CrossRef]

60. Chen, T.; Wu, F.; Wang, H.; Liu, D. Laser cladding in-situ Ti(C,N) particles reinforced Ni-based composite coatings modified with CeO₂ nanoparticles. *Metals* 2018, 8, 601. [CrossRef]

61. Huang, J.; Wu, J.; Yu, J.; Xu, Y.; Yan, J.; Li, J. Evaluation of Adhesion Strength of Thermally Sprayed Coatings: Limitations of the ASTM C633 Standard and Alternative Testing Approaches. *Materials* 2024, 17, 5069. [CrossRef]

62. Rakhadilov, B.; Buitkenov, D.; Sagdoldina, Z.; Idrisheva, Z.; Zhamanbayeva, M.; Kakimzhanov, D. Preparation and Characterization of NiCr/NiCr-Al₂O₃/Al₂O₃ Multilayer Gradient Coatings by Gas Detonation Spraying. *Coatings* 2021, 11, 1524. [CrossRef]

63. Houdková, Š.; Smazalová, E.; Vostřák, M.; Schubert, J. Properties of NiCrBSi coating, as sprayed and remelted by different technologies. *Surf. Coat. Technol.* 2014, 253, 14–26. [CrossRef]

					MP. АТМ – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

64. Rakhadilov, B.; Pogrebnyak, A.; Zhuldyz, S.; Buitkenov, D.; Beresnev, V.; Mukhamedova, A. Effect of Bilayer Thickness and Bias Potential on the Structure and Properties of (TiZr/Nb)N Multilayer Coatings as a Result of Arc-PVD Deposition. *Materials* 2022, 15, 7696. [CrossRef]

65. Rakhadilov, B.; Sulyubayeva, L.; Maulet, M.; Sagdoldina, Z.; Buitkenov, D.; Issova, A. Investigation of High-Temperature Oxidation of Homogeneous and Gradient Ni-Cr-Al Coatings Obtained by Detonation Spraying. *Coatings* 2024, 14, 11. [CrossRef]

66. Cr-B-Si-C Laser Deposited Coatings. *Microsc. Microanal.* 2013, 19, 120–131. [CrossRef]

67. ASTM A108; Standard Specification for Steel Bar, Carbon and Alloy, Cold-Finished. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2024.

68. ISO/TR 26946:2011; Standard Method for Porosity Measurement of Thermally Sprayed Coatings. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2011.

69. Górká, J.; Lont, A.; Poloczek, T. The Microstructure and Properties of Laser Cladded Ni Based Self Fluxing Alloy Coatings Reinforced by TiC Particles. *Coatings* 2025, 15, 527. [CrossRef]

70. Buitkenov, D.; Rakhadilov, B.; Nabioldina, A.; Mukazhanov, Y.; Adilkanova, M.; Raisov, N. Investigation of Structural Phase, Mechanical, and Tribological Characteristics of Layer Gradient Heat-Protective Coatings Obtained by the Detonation Spraying Method. *Materials* 2024, 17, 5253. [CrossRef]

61. Sagdoldina, Z.; Baizhan, D.; Sulyubayeva, L.; Berdimuratov, N.; Buitkenov, D.; Bolatov, S. Effect of Electrofriction Treatment on Microstructure, Corrosion Resistance and Wear Resistance of Cladding Coatings. *Coatings* 2024, 14, 1433. [CrossRef]

62. ASTM C633-15(2020); Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2020.

					MP. ATM – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

63. ISO 19403-2:2024; Paints and Varnishes—Wettability—Part 2: Determination of Surface Free Energy of Solid Surfaces by Measuring the Contact Angle. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2024.

64. ISO 6507-1:2018; Metallic Materials—Vickers Hardness Test—Part 1: Test Method. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2018.

65. Wang, Y.; Stella, J.; Darut, G.; Poirier, T.; Liao, H.; Planche, M.-P. APS prepared NiCrBSi-YSZ composite coatings for protection against cavitation erosion. J. Alloys Compd. 2017, 699, 1095–1103. [CrossRef]

66. Serres, N.; Hlawka, F.; Costil, S.; Langlade, C.; Machi, F. Microstructure and Environmental Assessment of Metallic NiCrBSi Coatings Manufactured via Hybrid Plasma Spray Process. Surf. Coat. Technol. 2010, 205, 1039–1046. [CrossRef]

67. Muzamil, M.; Iqbal, S.A.; Anwar, M.N.; Samiuddin, M.; Yang, J.; Raza, M.A. Wear Behavior assessment of new wire-arc additively manufactured surfaces on AA6061 and AA5086 alloys through multi-walled carbon nanotubes and Ni particles inducement. Coatings 2024, 14, 429. [CrossRef]

					MP. АТм – 85.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ДОДАТКИ

ТЕМА РОБОТИ: Аналіз методів підвищення

зносоустійкості деталей автомобілів в умовах Комунального підприємства “Електроавтотранс”, м. Івано-Франківськ.

ВИКОНАВ: ст.гр. АТм-24-2 С.М. Поліха

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК: к.т.н. доц. Прунько І.Б.

Метою магістерської роботи є підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкості, міцності, строку служби) деталей автомобілів. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання: 1) на основі аналізу літературних джерел та патентно-інформаційних досліджень обґрунтувати доцільність зміцнення і відновлення деталей автомобілів; 2) вибрати склад матеріалу покриття; 3) визначити фізико-механічні властивостями зміцнених і їх вплив на строк служби автомобільних деталей.

Об'єкт дослідження є покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці.

Предмет дослідження процес нанесення зносостійкого покриття методом газополум'яної металізації.

Методи дослідження 1) на основі аналізу літературних джерел та патентно-інформаційних досліджень обґрунтувати доцільність зміцнення і відновлення методом газополум'яної металізації.; 2) вибрати склад матеріалу покриття; 3) визначити фізико-механічні властивостями і їх вплив на строк служби.

Наукова новизна результатів роботи розглянуто покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці. В результаті показано, що найкращими характеристиками має покриття, отримане з порошку сферичного при нанесенні в низькоентальпійном тепловому потоці.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення результатів полягає в можливості їх використання для оптимізації технологій нанесення покриттів, що використовуються для збільшення терміну служби швидкозношуваних деталей автобусів та тролейбусів.

Основні види діяльності підприємства «Електроавтотранс»:

- Перевезення пасажирів електротранспортом.
- Перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом, у тому числі із залученням додаткових транспортних засобів на міських маршрутах, переданих підприємству для обслуговування.
- Будівництво ліній енергозабезпечення.
- Технічне обслуговування та ремонт:
електро- і автотранспорту,
контактних та кабельних ліній,
тягових підстанцій та іншого технологічного обладнання.
 - Послуги для юридичних та фізичних осіб з ремонту та технічного обслуговування транспортних засобів, електрообладнання й апаратури.
 - Надання рекламних послуг.
 - Виконання робіт: столярних, слюсарних, сантехнічних, а також випробувальних та вимірювальних робіт електрообладнання й апаратури.
 - Організація громадського харчування на базі підприємства.
 - Оптова та роздрібна торгівля продовольчими та непродовольчими товарами.
- Реалізація та друк проїзних, абонементних та електронних квитків, виготовлення транспортних карток.
- Організація автостоянок та надання платних послуг із відповідального зберігання.
- Професійно-технічна освіта для підготовки кваліфікованих кадрів (водіїв тролейбусів, слюсарів з ремонту рухомого складу та іншого обладнання, а також інших професій згідно тарифно-кваліфікаційного довідника).
 - Розробка технічної документації та виготовлення запасних частин до тролейбусів і контактної мережі.
 - Надання медичних послуг, зокрема стоматологічних та проведення передрейсових медичних оглядів водіїв.
- Ведення автоматизованих систем обліку та інформації.

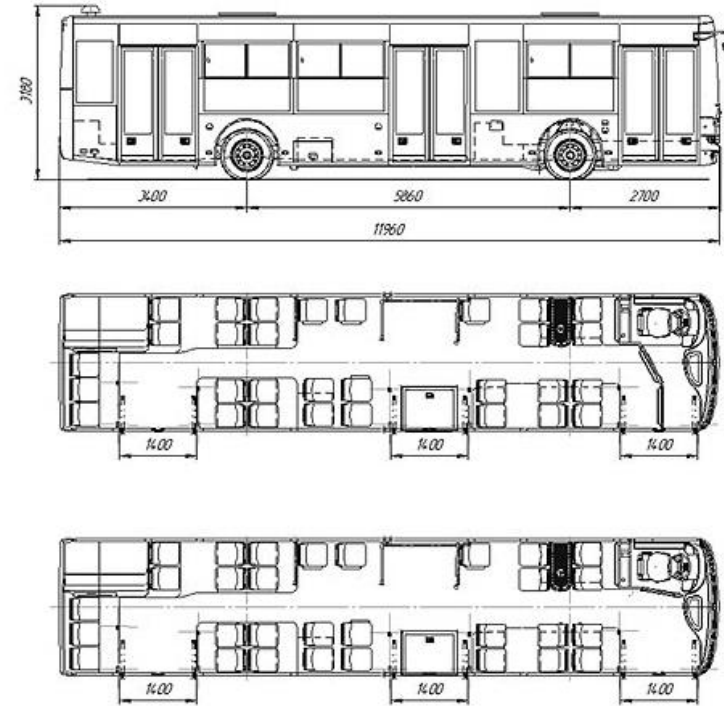


Рисунок 1 – Автобус Богдан А70132

Таблиця 1 – Технічна характеристика автобуса Богдан А70132*

Основні дані	Числове значення
Загальні дані	
Колісна формула	4x2
Довжина / ширина / висота, мм	11960/2550/3050
Колісна база, мм	5860
Колія передня / задня, мм	2160/1890
Висота першої ходи над рівнем дороги, мм	350
Споряджена маса, кг	10880
Технічно допустима максимальна маса, кг	18500
Технічно допустима макс. маса на передню / задню вісь, кг	7100/11500
Мінімальний радіус розвороту, м	12,5
Максимальна швидкість, км / год	70
Витрата пального при повному завантаженні, л / 100км	32
Двигун	
Тип	IVECO NEF F4A-6
Розміщення двигуна	заднє, поздовжнє
К-ть та розташування циліндрів	6, рядне
Робочий об'єм, л	5,9
Потужність, кВт (к.с.)	194 (264)
Крутний момент, Нм	1000
Відповідь екологічного норма	Євро 5
Система охолодження	рідинна
Коробка передач	
Виробник, модель	Allison T325R, VOITH Diwa D864.5, ZF Ecolife
Тип	автоматична
Рульове управління	Виробник ЗАТ "Радій", ZF
Гідропідсилювач руля	інтегрований з гідропідсилювачем
Підвіска	
Передня підвіска	незалежна, пневматична
Задня підвіска	залежна, пневматична
Передня вісь	ZF, VOITH
Задній міст	ZF, VOITH, порталний
Гальмівна система	
Тип	пневматична
Робоча гальмівна система	двоконтурна
Стоянкова гальмівна система	пружинний енергоакумулятор
Допоміжна гальмівна система	ретардер
Запасна гальмівна система	один з контурів робочої гальмівної системи
ABS	+
Кузов	
Тип	несучий, вагонної компоновки
Кількість дверей для пасажирів	3
Ширина дверних проїм (загальна), мм	1400/1400/1400
Пасажиромісткість (без водія), чол	106
К-ть міст для сидіння (без водії)	30
Система опалення	рідинна
Тип сидінь	напівм'які
Колеса / Шини	
Розміри	8,25x22,5 / 275 / 70R22,5
Електрообладнання	
Номинальна напруга, В	24



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Приклади відновлених і зміцнених ДАВ: а) палець поршня 304-10-2 (сталь 12ХН3А-42, HRC58); б) розподільчий вал 101410АО (сталь 45); в) колінчастий вал (сталь 18Х2Н4МА)

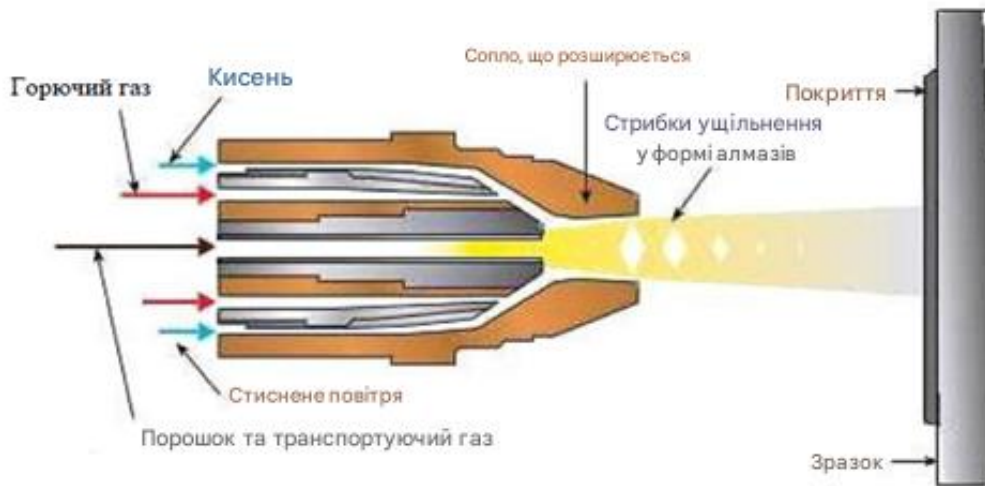


Рисунок 3 – Принципова схема високошвидкісного газополум'яного напилення

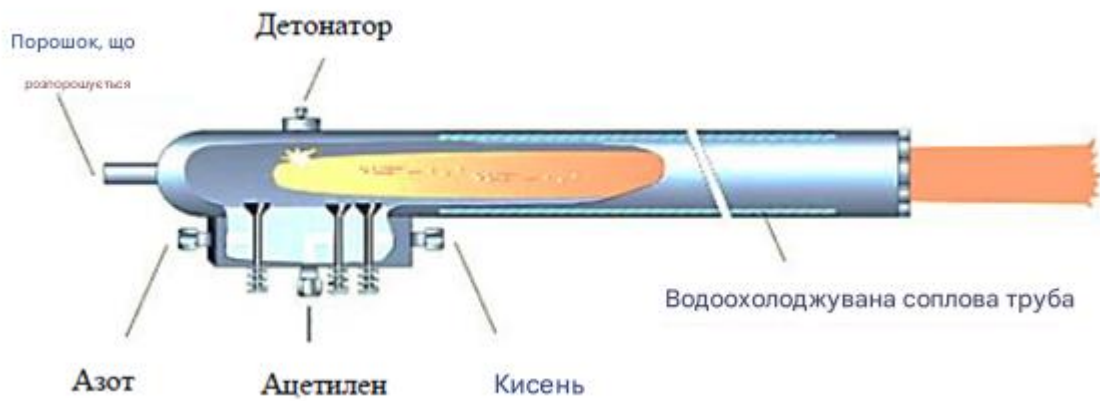


Рисунок 4 – Принципова схема процесу детонаційного напилення

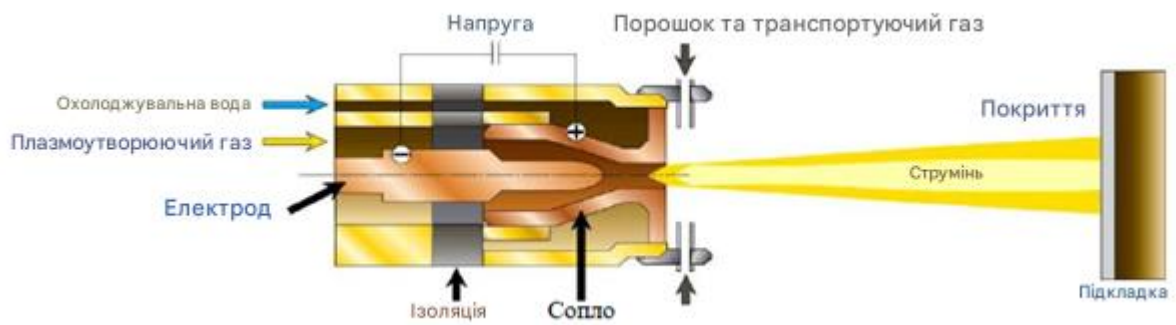


Рисунок 5 – Принципова схема процесу плазмового напилення

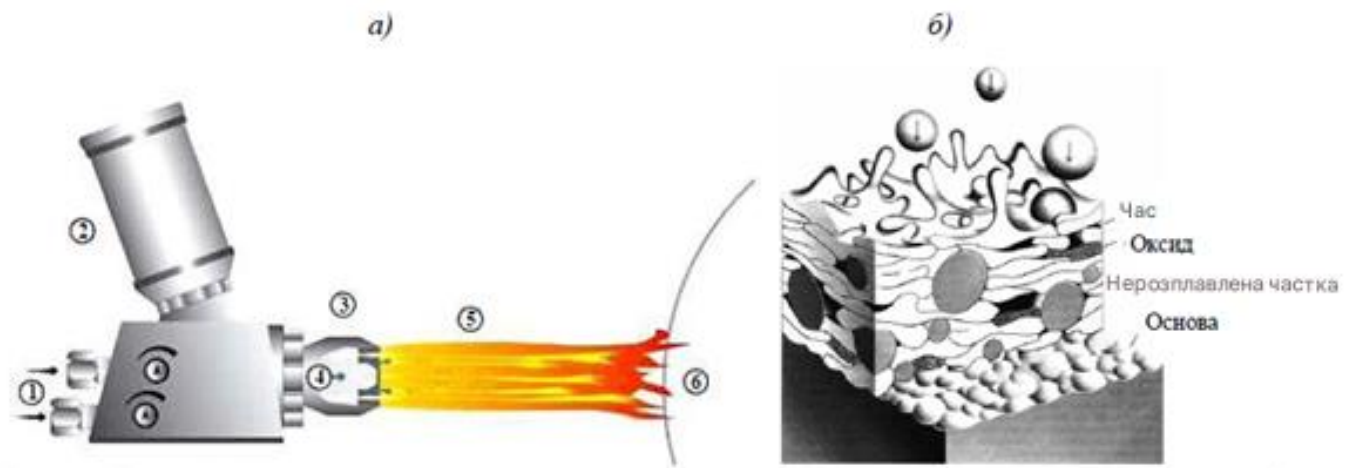


Рисунок 6 – Принципова схема газополум'яного напилення порошком (а: 1 – кисень/ацетилен; 2 – контейнер із порошком; 3 – пальник; 4 – порошок + газ; 5 - ацетилен-кисневе полум'я і напилювні частинки; б – деталь) та схема формування напиленого покриття (б)



Рисунок 7 – Нанесення газоплазмового покриття

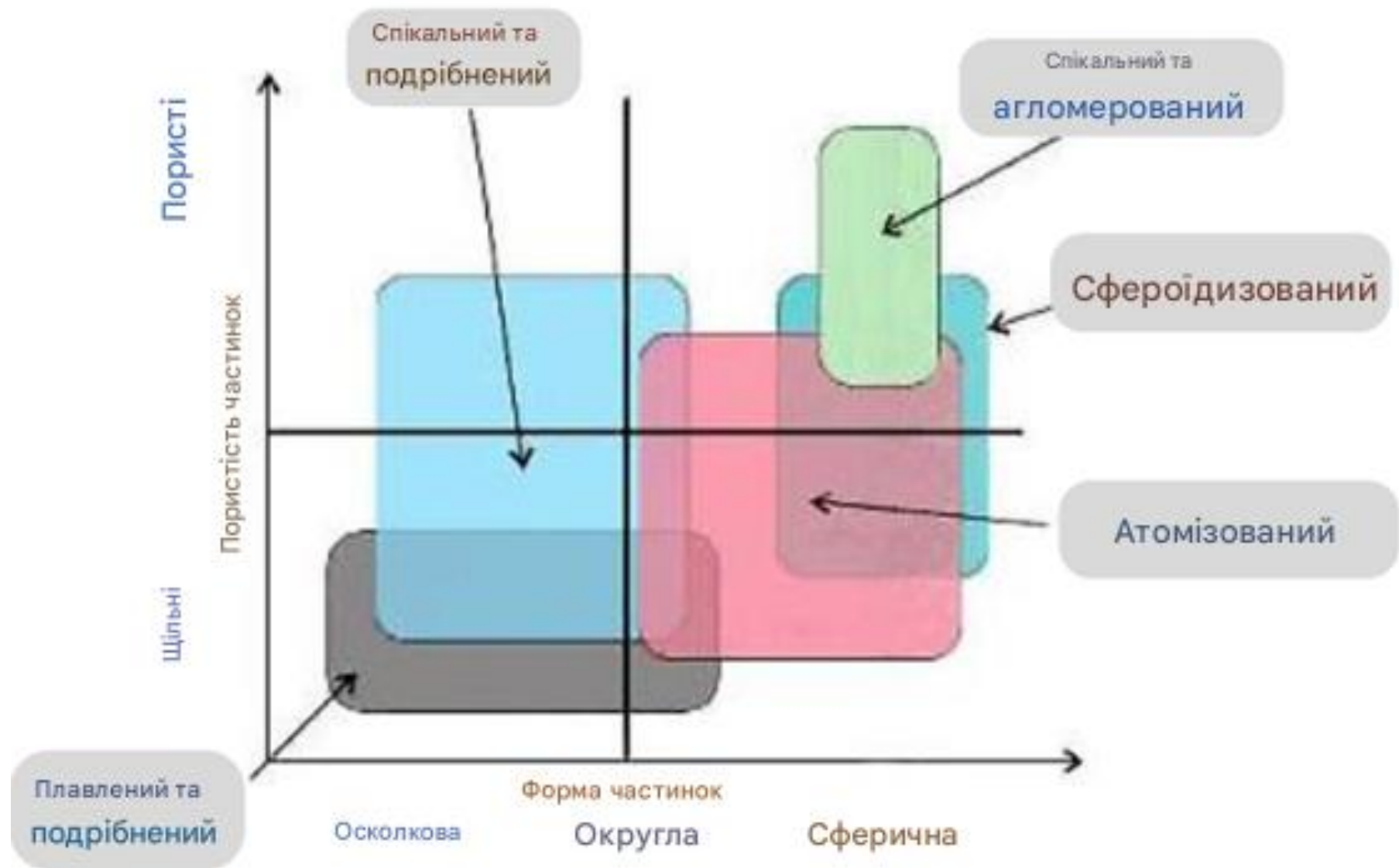


Рисунок 8 – Залежність пористості та форми частинок від методу виготовлення матеріалів

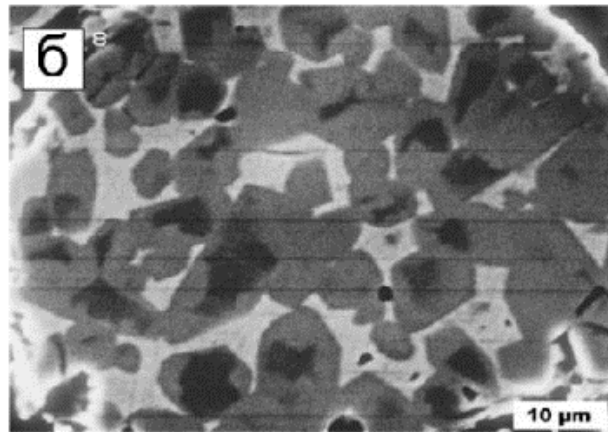
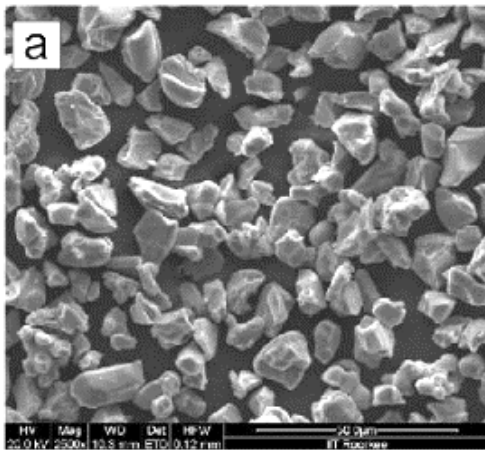


Рисунок 9 – Металокерамічні композиційні частинки, отримані в результаті механічного розмелювання компактного матеріалу системи Cr₃C₂-NiCr: а – морфологія поверхні частинок [25]; б - поперечний шліф частинок [26]

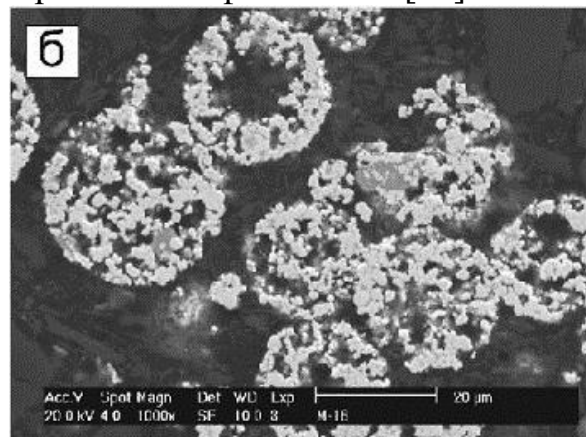
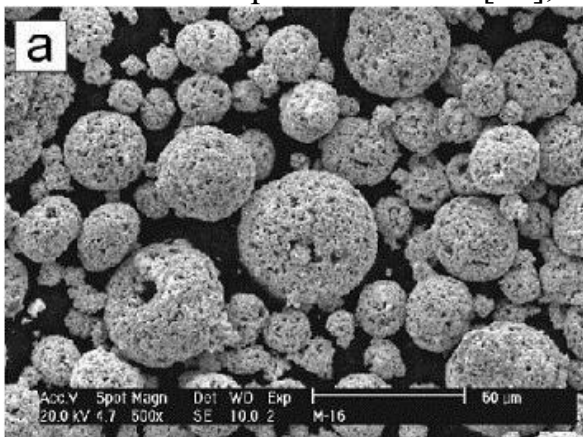


Рисунок 10 – Металокерамічні частинки складу WC-15% (Ni₂₃Cr₁₆Mo_{1,0}Fe), отримані в результаті розпилювального сушіння [27]: а – морфологія поверхні частинок; б – поперечний шліф частинок

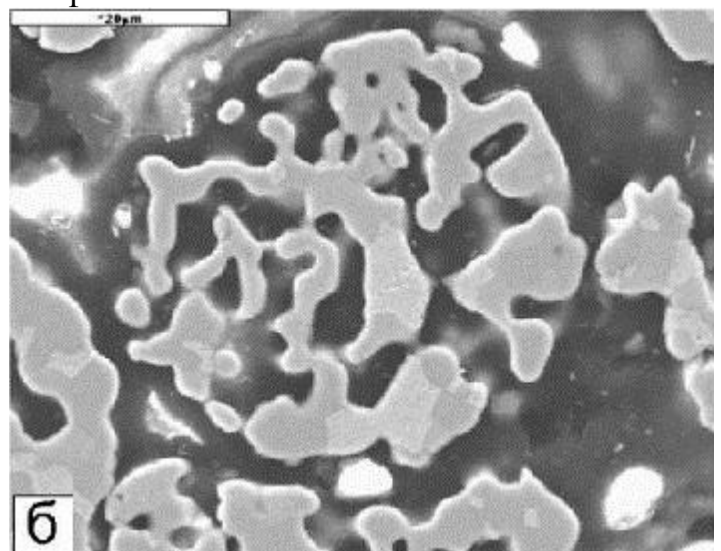
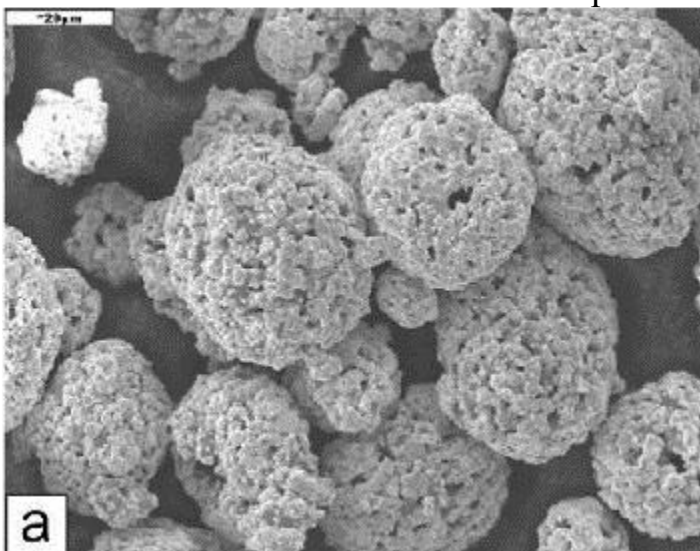
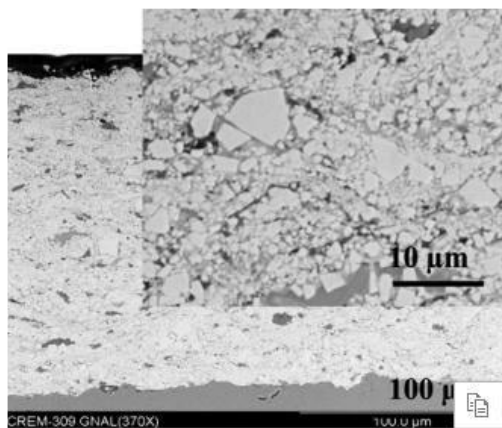
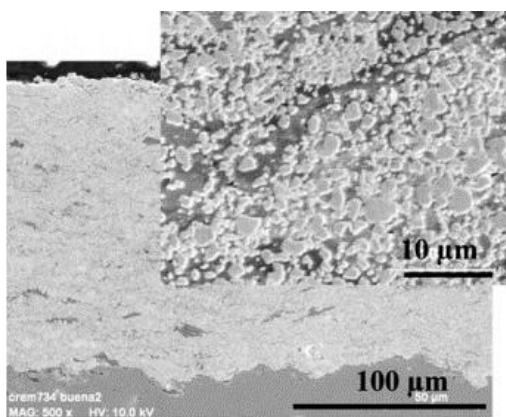


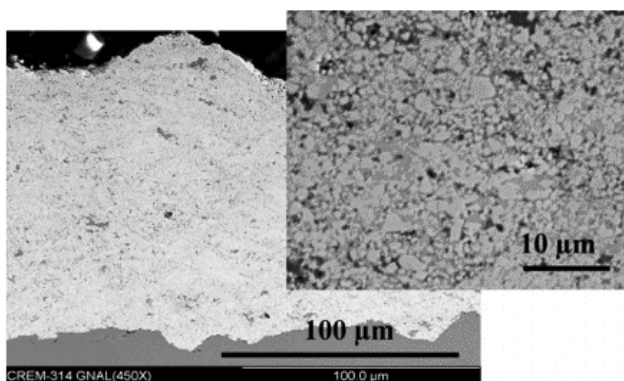
Рисунок 11 – Металокерамічні частинки складу 75% Cr₃C₂-25% (Ni₂₀Cr), отримані методом розпилювального сушіння [28]: а – морфологія поверхні частинок; б – поперечний шліф частинок



а)



б)



в)

Рисунок 12 – Мал. 14. СЕМ-зображення покриттів системи WC-Co-Cr, нанесених за допомогою високошвидкісного напилення: а - покриття, отримане з порошку осколкової форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; б – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; в – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує низькоентальпійне полум'я

Таблиця – Параметри процесу високошвидкісного напилення

Покриття	Режим	Витрата O ₂ , л/хв	Витрата H ₂ , л/хв	Витрата N ₂ , л/хв	Витрата порошка, г/хв	Дистанція напилення, мм	Швидкість переміщення, мм/с
А	1	214	344	635	38	230	1256
В		214	344	635	38	230	1256
В'	2	214	600	360	38	230	1256

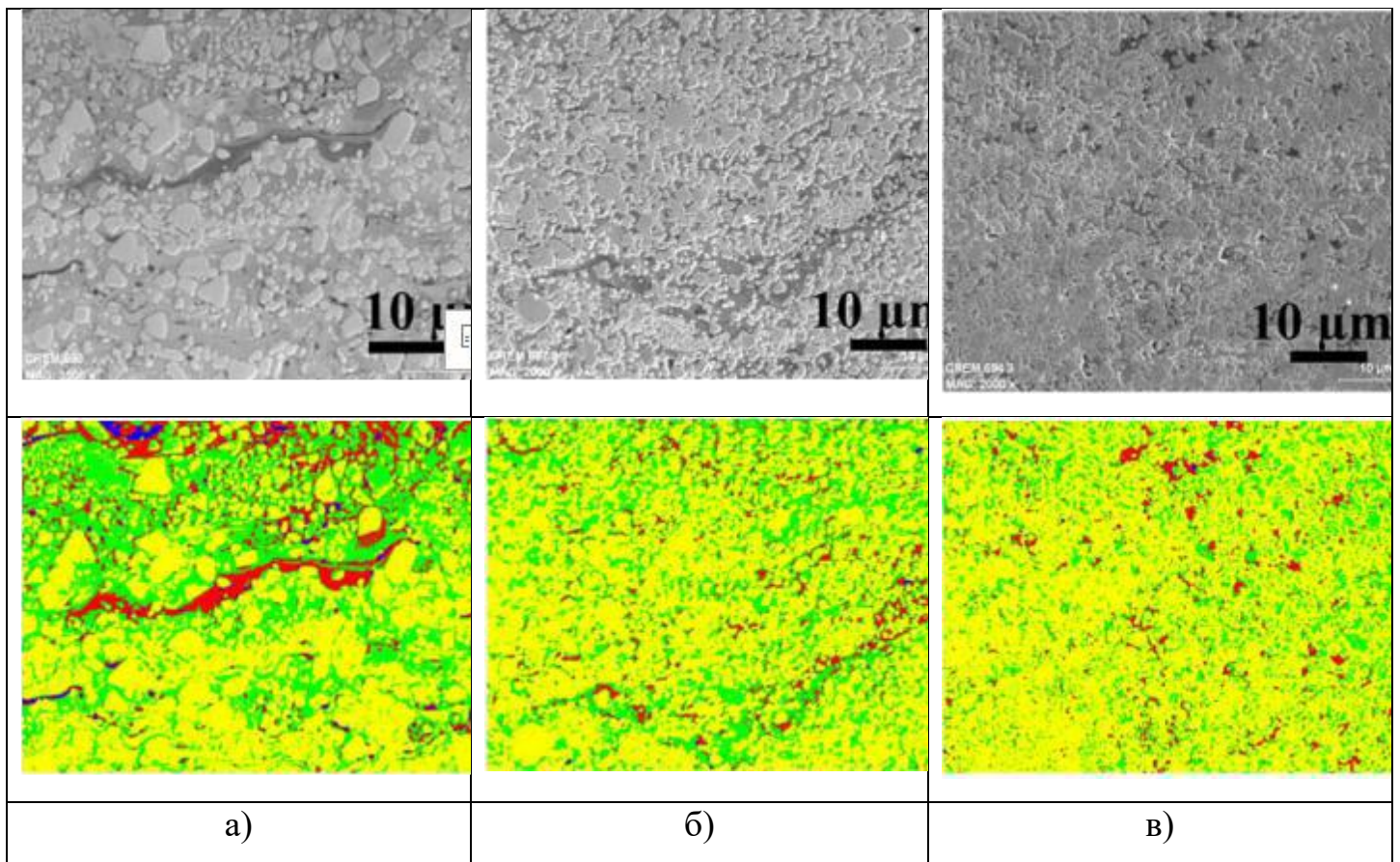


Рисунок 13 – Мал. 15. Зразки, використані для аналізу фазового зображення покриттів системи WC-Co-Cr, нанесених методом високошвидкісного напилення: а - покриття, отримане з порошку осколкової форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; б – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує високоентальпійне полум'я; в – покриття, отримане з порошку сферичної форми за режимом, що забезпечує низькоентальпійне полум'я

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі: «Аналіз методів підвищення зносостійкості деталей автомобілів в умовах Комунального підприємства “Електроавтотранс”, м. Івано-Франківськ.». Наведено характеристики автомобіля автобуса Богдан А70132. Наведено приклади швидкозношуваних деталей.

В розділі 2 проаналізовано існуючі методи та фізичні принципи отримання газополум'яних покриттів. Вказано на основні їх переваги та недоліки.

В розділі 3 проаналізовано результати дослідів, на основі чого зроблено наступні висновки:

Найбільш поширеним способом отримання композиційних металокерамічних порошків для промислового застосування є розпилювальне сушіння – за рахунок сферичності одержуваних частинок, рівномірності розподілу карбідів усередині однієї частинки та високої продуктивності.

Розглянуто також покриття, отримані методом високошвидкісного напилення з частинок осколкової та сферичної форми при високо- та низькоентальпійному тепловому потоці. В результаті показано, що найкращими характеристиками має покриття, отримане з порошку сферичного при нанесенні в низькоентальпійном тепловому потоці (в тому числі низька пористість).

У розділі 4 описані правил охорони праці. Проведено розрахунок заземлення установки для електродугової металізації. Дотримання даних правил має велике значення для збереження життя та запобігання травматичним ситуаціям.

Результати роботи запропоновані керівництву підприємства для впровадження у виробничий процес.