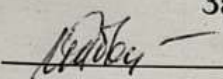


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала
Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра матеріалознавства і технології металів

«Допущений до захисту»

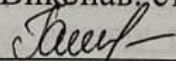
Завідувач кафедри

 д.т.н, проф. Дубовий О.М.
« 24 » серпня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
(потрібне залишити)

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ
НАНЕСЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МЕТАЛОКАРБІДНИХ
ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ»

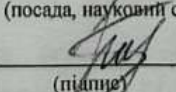
Виконав: студент групи 6131м

 **Гашицька О.М.**
(підпис)

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

(посада, науковий ступень, вчене звання)

 **Карпеченко А.А.**
(підпис)

Миколаїв – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

Інститут, факультет: Кораблебудівний науково-навчальний інститут

Кафедра: Матеріалознавства і технології металів

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Напрямок підготовки: 132 – Матеріалознавство

(шифр і назва)

Спеціальність: 6.050403 «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»

(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц. Карпеченко А.А.

“ ____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гашицькій Олені Миколаївні

1. Тема проекту (роботи): **«Дослідження та удосконалення технології нанесення композиційних металокарбідних електродугових покриттів»**

Керівник проекту (роботи): **Карпеченко Антон Анатолійович, к.т.н., доцент**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2024 року № ____

2. Строк подання студентом проекту (роботи): “ ____ ” _____ 2024 року.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Креслення електродугового металізатору.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку технології електродугового напилення композиційних покриттів; 2. Модернізація конструкції електродугового розпилювача та отримання композиційних металокарбідних покриттів; 3. Дослідження впливу параметрів напилення на склад композиційних покриттів та їх властивості; 4. Розробка технологічних рекомендацій щодо електродугового напилення металокарбідних покриттів; 5. Організація виробництва на дільниці нанесення електродугових покриттів (річна програма 1500 шт.); 6. Загальні висновки по роботі; 7. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): ковпак електродугового розпилювача (1). Плакати: титульна сторінка (1); мета та завдання дипломної роботи (1); Модернізація конструкції розпилювача для нанесення електродугових композиційних металокарбідних покриттів (1), Напилювані матеріали для отримання металокарбідних електродугових покриттів композиції 65Г -TiC (1), Результати дослідження

мікроструктури отриманих покриттів (1); Результати ідентифікації фаз у отриманому композиційному електродуговому покритті (1); Визначення кількості карбідної фази та вплив параметрів напилення на склад композиційних покриттів (1); Результати визначення міцності зчеплення отриманих композиційних електродугових покриттів (1); Розробка технологічних рекомендацій процесу електродугового напилення металокарбідних покриттів з композиції 65Г-ТіС (1); Загальні висновки по роботі (1).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Карпеченко А.А. доцент	16.09	
2	Карпеченко А.А. доцент	07.10	
3	Карпеченко А.А. доцент	28.10	
4	Карпеченко А.А. доцент	11.11	
5	Карпеченко А.А. доцент	25.11	

7. Дата видачі завдання: “16” вересня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз сучасного стану і перспективи розвитку технології електродугового напилення композиційних покриттів	07.10	
2	Модернізація конструкції електродугового розпилювача та отримання композиційних металокарбідних покриттів	28.10	
	Дослідження впливу параметрів напилення на склад композиційних покриттів та їх властивості	11.11	
4	Розробка технологічних рекомендацій щодо електродугового напилення металокарбідних покриттів	25.11	
5	Організація виробництва на ділянці нанесення електродугових покриттів (річна програма 1500 шт.	09.12	
6	Загальні висновки по роботі	16.12	
7	Список використаної літератури	16.12	

Студент _____
(підпис)

Гашицька О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Карпеченко А.А.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	2
АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ.....	10
1.1 Порівняльний аналіз газотермічних методів нанесення антифрикційних та зносостійких композиційних покриттів	10
1.2 Застосування електродугових покриттів. Стан і перспективи розвитку ..	17
1.3 Апаратура та устаткування для електродугового напилення покриттів ..	21
1.4 Напилення металокарбідних покриттів методами ГТН.....	22
1.5 Напилення композиційних покриттів електродуговим методом	28
1.6 Постановка задач дипломної роботи.....	29
РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО РОЗПИЛЮВАЧА ТА ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МЕТАЛОКАРБІДНИХ ПОКРИТТІВ.....	32
2.1 Аналіз та модернізація конструкції електродугового розпилювача ЕМ- 14М.....	32
2.2 Дослідження порошку карбіду титану.....	37
2.3 Отримання металокарбідних покриттів з композиції 65Г – TiC та дослідження їх мікроструктури	39
2.4 Висновки до розділу 2	44
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАПИЛЕННЯ НА СКЛАД КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.....	46
3.1 Визначення вмісту карбідної фази	46
3.2 Вплив параметрів напилення на склад композиційних покриттів.....	48
3.3 Дослідження міцності зчеплення отриманих покриттів	49
3.4 Висновки до розділу 3	52

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ МЕТАЛОКАРБІДНИХ ПОКРИТТІВ	54
4.1 Вибір і підготовка матеріалів, які застосовуються при нанесенні газотермічних покриттів.....	55
4.2 Підготовка поверхні під нанесення газотермічного покриття	56
4.3 Напилення газотермічного покриття.....	58
4.4 Визначення фізико-механічних властивостей напилених покриттів.....	59
4.5 Висновки до розділу 4	60
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА НА ДІЛЬНИЦІ НАНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ (РІЧНА ПРОГРАМА 1500 ШТ.)	62
5.1 Основні вимоги до дільниці	62
5.1.1 Технічні вимоги до дільниці	62
5.1.2 Вимоги до освітлення	63
5.1.3 Вимоги до робочих місць	63
5.1.4 Вимоги до вентиляції приміщення.....	64
5.1.5 Вимоги до захисту від шуму та вібрації	65
5.1.6 Вимоги до засобів індивідуального захисту	66
5.2 Вибір потрібної кількості обладнання та робочих місць	66
5.2.1 Визначення і розрахунок партії запуску деталей.....	66
5.2.2 Розрахунок штучно-калькуляційного часу виготовлення покриття.....	67
5.2.3 Визначення фонду часу роботи устаткування.....	67
5.2.4 Розрахунок необхідної кількості устаткування та його завантаженість	68
5.3 Компоновка і опис дільниці	69
5.4 Висновки до розділу 5	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота містить: 83 аркушів, 5 розділів, 17 рисунків, 3 таблиці, 1 креслення, 10 плакатів, 50 джерел інформації.

Об'єкт дослідження – металокарбідні електродугові напиленні покриття.

Мета дипломної роботи – дослідження та удосконалення технології отримання металокарбідних електродугових покриттів з композиції 65Г - TiC.

Методи дослідження – комп'ютерна стереометрична металографія, растрова електронна металографія та спектральний аналіз, механічні властивості.

Дослідження полягає в вивченні можливості отримання металокарбідних електродугових покриттів з композиції 65Г – TiC, встановлення оптимальних параметрів режиму їх напилення для отримання заданого вмісту зміцнюючої фази та визначення фізико-механічних властивостей.

Встановлено вплив зміцнюючої фази у композиційних електродугових покриттях на їх мікротвердість та міцність зчеплення з металевою основою.

У роботі розроблені технологічні рекомендації щодо отримання електродугових металокерамічних покриттів з композиції 65Г – TiC та спроектовано дільницю для їх нанесення.

Ключові слова: МЕТАЛОКЕРАМІЧНІ ПОКРИТТЯ, РЕЖИМИ НАПИЛЕННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ З ОСНОВОЮ.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ANNOTATION

The thesis contains: 80 sheets, 5 chapters, 17 figures, 3 tables, 2 drawings, 10 posters, 50 sources of information.

The object of the study is metal carbide electric arc coating.

The aim of the thesis is to research and improve the technology of obtaining metal carbide electric arc coatings from the composition of 65G–TiC.

Research methods – computer stereometric metallography, raster electronic metallography and spectral analysis, mechanical properties.

The research consists in studying the possibility of obtaining metal carbide electric arc coatings from the composition 65G – TiC, establishing the optimal parameters of their sputtering regime to obtain the specified content of the strengthening phase and determining the physical and mechanical properties.

The influence of the strengthening phase in composite electric arc coatings on their microhardness and bond strength with the metal base was established.

In the work, technological recommendations for obtaining electric arc metal-ceramic coatings from the composition 65G – TiC were developed and a site for their application was designed.

Key words: METALOCERAMIC COATINGS, SPRAYING MODES, MICROSTRUCTURE, HARDNESS, ADHESION STRENGTH TO THE SUBSTRATE.

					132. 6131M KP 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Рівень розвитку машинобудування на початку XXI століття характеризується підвищеною інтенсивністю режиму роботи машин і механізмів. Зміна і ускладнення умов експлуатації вузлів і агрегатів вимагає постійного вдосконалення технології виробництва для забезпечення достатньої надійності і довговічності. Експлуатаційні властивості деталей та механізмів, а також ресурс їх роботи, визначаються в першу чергу фізико-механічними властивостями поверхні. Статистичний аналіз показує, що більшість машин (85 – 90%) виходять з ладу не через поломки, а в результаті зносу поверхонь окремих деталей.

В останні роки для відновлення зношених деталей все частіше застосовується газотермічне напилення (ГТН) покриттів. Пов'язано це з тим, що при усуненні зносу деталей, маса металу, що наноситься, зазвичай становить 2 – 4%, а вартість ремонту не перевищує 10 – 30% від вартості нової. Серед методів ГТН електродуговий метод вирізняється найвищою продуктивністю, високим енергетичним ККД, простотою на низькою вартістю.

Однак покриття, що отримуються з використанням традиційних технологій напилення, не завжди забезпечує достатній рівень експлуатаційних властивостей для ефективної роботи деталей і механізмів у зазначених умовах. Для вирішення цієї проблеми останнім часом все частіше використовуються композиційні покриття, зокрема ті, що містять у своєму складі карбіди.

Таким чином, дослідження можливості отримання металокарбідних композиційних електродугових покриттів із використанням порошку у вільному вигляді, є актуальним завданням.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

1.1 Порівняльний аналіз газотермічних методів нанесення антифрикційних та зносостійких композиційних покриттів

Газотермічне напилення — це сукупність сучасних, добре відпрацьованих методів для нанесення функціональних, відновлювальних і декоративних покриттів із найрізноманітніших матеріалів. Ці технології знаходять застосування у надзвичайно широкому спектрі сфер — від реактивних двигунів і колінчастих валів до медичних імплантатів та автомобільних дисків. **[Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Газотермічне напилення — це сукупність процесів, у яких напилюваний матеріал розплавляється, диспергується (розпорошується) та переноситься на оброблювану поверхню за допомогою газового струменя. При контакті з поверхнею частинки напилюваного матеріалу миттєво охолоджуються (швидкість охолодження може досягати $10^6 - 10^8$ °C/с) і деформується, міцно зчепляючись з нею за рахунок приварювання, адгезії і механічного зчеплення [11]. Формування газотермических покриттів, послідовним укладанням великої кількості частинок з різною температурою, швидкістю, агрегатним станом, масою, призводить до утворення лускатої структури з зернистими включеннями і мікропорожнечі — порами, а в разі напилення металів — частинок їх оксидів, нітридів і т.д. [14].

В якості покриттів можуть застосовуватися як метали і сплави, так і неметалеві сполуки, карбіди, оксиди, скло, кераміка і полімери, а також композиційні матеріали. Як правило, таким способом можна напилити будь-який матеріал, що не сублімує і не розкладається при нагріванні до температури плавлення. В якості підкладки можуть виступати метали, кераміка, деревина або пластмаси.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Газотермічне напилення використовується в промисловості вже близько 100 років, але за останні два десятиліття в цій сфері відбулися значні зміни, які підняли технології на новий рівень. Ці зміни стали можливими завдяки вдосконаленню обладнання, розвитку технологій виробництва матеріалів для напилення, а також впровадженню сучасних систем автоматизації та контролю якості.

Процеси газотермічного напилення класифікуються залежно від джерела теплової енергії. У газополумених, високошвидкісних і детонаційних установках тепло генерується внаслідок хімічної реакції горіння паливного газу. В електродуговому та плазмовому напиленні джерелом енергії є електрична дуга. Розглянемо кожен із цих методів докладніше.

Газополуменеве напилення

Газополуменеве напилення здійснюється за допомогою спеціального пальника, у який подають повітря (або кисень) і горючий газ (ацетилен, пропан, водень тощо). У зону горіння вводять напилюваний матеріал, який розплавляється у полум'ї, розпилюється та переноситься на оброблювану поверхню струменем газу. Цей метод створює покриття з відносно високою пористістю (5–12%) та невисокою адгезією до підкладки, що зумовлено низькою швидкістю газового струменя (приблизно 50 м/с). Температура полум'я обмежує вибір матеріалів, які можна застосувати для напилення цим способом. **[Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]**

Напилюваний матеріал може подаватися в розпилювач у вигляді стрижня, дроту, порошку або шнура. Металеві матеріали зазвичай використовуються у формі гнучких дротів, що є зручним і забезпечує безперервність процесу. Керамічні матеріали подаються у вигляді порошків або спеціальних спечених прутків. Однак використання прутків має суттєвий недолік — переривання безперервності процесу. [4].

При використанні багатокомпонентних порошків для напилення можуть виникати порушення однорідності властивостей покриття, спричинені

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

сегрегацією частинок порошку. Цю проблему вирішують шляхом застосування гнучких шнурових матеріалів, виготовлених із того самого порошку, який утримується гнучкою зв'язкою. Під час розпилювання зв'язувальний матеріал повністю вигорає, і на підкладку осідає лише порошковий матеріал. **[Ошибка! Источник ссылки не найден., 4].**

Основними перевагами газополуменевого напилення, які сприяли його широкому застосуванню, є простота та надійність обладнання, а також мобільність установок. Цей метод можна ефективно використовувати в польових умовах. Технології газополуменевого напилення успішно застосовуються для ремонту та відновлення геометрії деталей, що не піддаються значним навантаженням.

Плазмове напилення

У цьому методі джерелом енергії є електрична дуга, що виникає між двома електродами. Через зону горіння дуги продувається плазмотвірний газ, який іонізується і формує плазму з температурою до 15 000 °С. У плазмовий струмінь вводять порошок напилюваного матеріалу, який розплавляється та переноситься на оброблювану поверхню. Попри високі температури в зоні дуги, поверхня, що обробляється, не зазнає значного нагріву, оскільки при виході з області дуги температура плазми різко знижується. **[Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.].**

Плазмовим напиленням отримують покриття з нікелевих та залізних сплавів, карбідів, нітридів, боридів. Надзвичайно висока температура плазми дає змогу напилювати вогнетривкі кераміки, що містять оксиди алюмінію та цирконію, а також інші тугоплавкі матеріали, які не піддаються розпиленню за допомогою інших методів. **[Ошибка! Источник ссылки не найден., 4].**

До переваг плазмового розпилення можна віднести також гнучкість процесу, здатність регулювати фізико-механічні властивості одержуваного покриття та універсальність, що дозволяє напилювати практично будь-які матеріали та їх поєднання, зокрема багатошарові композиційні покриття.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Устаткування для плазмового напилення є більш складним, ніж для газополуменового, оскільки воно включає в себе як газову, так і електричну апаратуру. [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

На сьогодні активно досліджуються та розробляються нові методи плазмового напилення. У критичних випадках, щоб досягти високої адгезії та щільності покриттів, плазмовий процес проводять у вакуумній камері при зниженому тиску або в атмосфері інертного газу. Зниження тиску сприяє збільшенню швидкості частинок, що дозволяє отримувати більш щільні покриття. Процес у атмосфері інертного газу запобігає взаємодії розпилюваного матеріалу з киснем, що дає можливість напилювати хімічно активні матеріали, такі як дисиліцид молібдену або інтерметалліди. Такі покриття характеризуються високою твердістю та хімічною стійкістю при підвищених температурах. [4].

Ще однією перспективною модифікацією плазмового методу є процес, при якому струмінь напилюваного матеріалу оточується струменем інертного газу, щоб виключити взаємодію частинок з киснем. Переваги цього методу аналогічні тим, що досягаються при проведенні процесу в інертній атмосфері. [10].

Процеси плазмового напилення застосовуються для створення високоякісних функціональних покриттів в найрізноманітніших областях техніки – в автопромисловості і авторемонті, машинобудуванні, аерокосмічній техніці, електротехнічній та хімічній промисловості, у виробництві медичної та побутової техніки [19, 20].

Детонаційне напилення

Установка для детонаційного напилення складається з замкнутої камери згоряння, до якої приєднано ствол. У камеру подається суміш кисню та пального газу, а ствол спрямований на напилювану поверхню. Через завантажувальний отвір в камеру вводиться порошок. Суміш підпалюється електричною іскрою і вибухає. Розжарені частинки разом з продуктами згорання вилітають на оброблювану поверхню. Температура частинок під час удару досягає 4000 °С, а частота пострілів складає 3...4 постріли за секунду..

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Через високу швидкість вильоту частинок покриття, отримані детонаційним напиленням, характеризуються високою міцністю, твердістю та зносостійкістю. Цим методом створюють покриття з металокераміки, таких матеріалів як карбіди вольфраму, титану і кобальту, нітриди титану і бору, а також окис алюмінію. [4].

Недоліком методу є неоднорідність отриманого покриття та складність технологічного обладнання..

Високошвидкісне напилення

Технології високошвидкісного напилення справедливо вважаються одними з найбільш сучасних газотермічних методів.

Принципово, методи HVOF і HVAF не відрізняються від газополуменевого напилення. Однак завдяки особливостям конструкції пальника в цих методах досягаються значно вищі швидкості розпилення, що дозволяє отримувати покриття з покращеними властивостями.

Існують різноманітні реалізації ідеї високошвидкісного напилення. Одним з варіантів є система, яка включає камеру згоряння і довге циліндричне сопло, охолоджуване водою. У камеру під високим тиском подають кисень і горючий газ, а порошок напилюваного матеріалу подається строго по осі пальника. Суміш розплавлених частинок порошку і продуктів згоряння, проходячи через сопло, розганяється до надзвукової швидкості і вилітає в напрямку підкладки. У системах HVOF першого покоління тиск у камері згоряння становив 0,3–0,5 МПа, а швидкість вильоту частинок досягала 450 м/с. Для подальшого прискорення частинок тиск в камері підвищують до 1–1,5 МПа, а в конструкцію гармати вводять сопло Лаваля, що дозволяє досягти швидкостей вильоту понад 1000 м/с. [Ошибка! Источник ссылки не найден., 10]. Основним недоліком високошвидкісного напилення є великі витрати застосовуваних газів для розпилення.

Покриття, отримані високошвидкісним методом, характеризуються щільністю, що досягає 99% від щільності компактного матеріалу, і низьким рівнем залишкових напружень. Це важливо, оскільки залишкові напруження є

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ключовим фактором, що обмежує товщину покриття. Завдяки цьому HVOF-напилення дозволяє створювати покриття значно більшої товщини порівняно з газополуменим напиленням. За експлуатаційними характеристиками високошвидкісні покриття перевершують ті, що отримані методом детонаційного напилення. У ряді застосувань процеси HVOF поступово витісняють плазмове напилення, пропонуючи більш ефективні рішення для створення високоякісних покриттів..

Завдяки високій кінетичній енергії частинок, їх розплавлення не є необхідним для формування високоякісних покриттів. Це робить процес високошвидкісного напилення незамінним у ряді випадків, наприклад, при нанесенні металокерамічних покриттів, де важливо зберегти властивості матеріалу і уникнути термічного пошкодження..

Технології HVOF-напилення є неперевершеними для відновлення та продовження терміну служби деталей, які піддаються високому корозійно-ерозійному зносу та кавітації. Це досягається завдяки високій щільності та зносостійкості отриманих покриттів.

У розвинених країнах високошвидкісне напилення практично повністю замінило методи вакуумного напилення і дозволило відмовитися від використання вкрай неекологічних гальванічних покриттів.

Електродугове напилення

Електродугове напилення є одним із найбільш економічних методів нанесення покриттів, що вирізняється низьким енергоспоживанням та високою швидкістю процесу. Як і у випадку плазмового напилення, джерелом нагріву є електрична дуга, яка в цьому методі запалюється між двома дротами, що подаються в зону розпилення з постійною швидкістю. Температура в зоні дуги може перевищувати 6000 К, забезпечуючи ефективне плавлення напилюваного матеріалу. [16, 17]. Диспергування розплавленого матеріалу та його транспортування на оброблювану поверхню здійснюється струменем стисненого газу, зазвичай повітря.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Оскільки напилуваний матеріал виконує роль електрода, методом електродугового напilenня можна обробляти лише електропровідні матеріали, такі як метали та сплави. Через це метод іноді називають електродуговою металізацією.

Перевагами цього способу є його простота, економічність та висока продуктивність, яка може досягати 50 кг/год. [Ошибка! Источник ссылки не найден., 10].

Електродугове напilenня широко застосовується для нанесення антикорозійних покриттів із цинку та алюмінію, які знаходять використання в суднобудуванні, міській інфраструктурі, сільськогосподарському обладнанні тощо [8, 10].

Сучасні електродугові установки, що працюють в інертних атмосферах із використанням азоту або аргону як розпилювального газу, дозволяють створювати покриття з активних металів, таких як титан і цирконій. Ці покриття використовуються для антикорозійного захисту в хімічній промисловості [10].

Попередня обробка поверхні відіграє ключову роль при нанесенні газотермічних покриттів. Вона включає операції миття, знежирення та струменево-абразивну обробку, що підвищує міцність зчеплення покриття з підкладкою. У деяких випадках після нанесення покриття проводять додаткову обробку, таку як оплавлення, механічна чи фізико-хімічна обробка, для покращення адгезії та експлуатаційних характеристик.

Особливо ефективним є використання газотермічних покриттів поверх основних наплавлених шарів, які зазвичай мають грубий поверхневий рельєф, сприяючи підвищенню міцності та довговічності покриття. [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Методи газотермічного напilenня, описані в цьому підрозділі, безсумнівно, належать до ресурсозберігаючих технологій. Вони продовжують термін експлуатації обладнання, дозволяючи відновлювати зношені вузли, замість їх заміни на нові. Використання функціональних покриттів сприяє

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

економії дорогих матеріалів, оскільки основний об'єм деталей можна виготовляти з більш дешевого металу. Впровадження сучасних автоматизованих процесів газотермічного напилення у виробництво дозволяє створювати продукцію з високими експлуатаційними характеристиками, що відповідають вимогам сучасних технологій та забезпечують конкурентоспроможність на ринку.

1.2 Застосування електродугових покриттів. Стан і перспективи розвитку

Починаючи з 50-х років минулого століття, газотермічні покриття, знайшли широке застосування в якості антикорозійного захисту металоконструкцій. Приводом до того послужили вдалі розробки в області електродугового напилення. На відміну від газополуменевого та плазмового методів, електродугова металізація є значно дешевшою, більш продуктивною та технологічною. Це робить її придатною для нанесення покриттів не лише в заводських умовах, але й у польових, де вимоги до комунікаційного забезпечення мінімальні.

Електродугові антикорозійні покриття, нанесені з алюмінію і цинку, а також їх сплавів, призначені для захисту стали від корозії, яка виникає під впливом морської і прісної води, мінеральних мастил і нафтопродуктів. Покриття, нанесені методом електродугової металізації, є анодними стосовно сталі та забезпечують ефективний протекторний захист, аналогічний цинковим металевим покриттям, отриманим шляхом гарячого цинкування. На відміну від складної технології цинкування, електродугове напилення дозволяє захищати великогабаритні сталеві конструкції гідротехнічних і підземних споруд, бакову апаратуру і трубопроводи в умовах монтажного майданчика.

Для нанесення покриття застосовують технічної чистоти цинковий, алюмінієвий дріт і дріт з їх сплавів суцільного перерізу. Поява тріщин і подряпин не порушує цілісності захисту. Застосування таких покриттів регламентовано численними ГОСТами, а товщина покриття залежить від умов експлуатації виробу і варіюється від 80 до 250 мкм.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Використання такого захисного покриття в поєднанні з лакофарбовим не тільки забезпечує збільшення терміну захисту, але і покращує зовнішній вигляд.

Технологія нанесення таких комбінованих покриттів не вимагає енергоємного, великогабаритного та дорогого обладнання, такого, наприклад, як ванни для гарячого цинкування. Відновлення лакофарбової плівки на металізаційних покриттях проводять не частіше, ніж один раз в 10 – 15 років, і то лише в декоративних цілях [19].

Для захисту заліза і сталі в різних корозійних середовищах при нормальних і високих (до 1300 °С) температурах зазвичай використовуються алюмінієві покриття, оскільки швидкість корозії алюмінію на кілька порядків нижче, ніж сталі. Так, при товщині алюмінієвого покриття 0,2 мм термін ефективної роботи сталевих елементів в атмосферних умовах становить близько 50 років. У гарячій воді алюмінієве покриття захищає металоконструкції без ремонту більше 20 років [19].

Ці властивості дозволяють широко і ефективно застосовувати електродугові покриття для захисту обладнання, що використовується в водопостачанні та теплових мережах. Наприклад, забарвлення дорогими цінкосілікатними складами гарантує роботу баків-акумуляторів гарячої води на термін не більше 5 – 7 років, а комбіноване алюмінієво-лакофарбове покриття дозволяє експлуатувати ці баки без ремонту втричі довше. Далі, звичайні лакофарбові покриття, що застосовуються для захисту газопроводів і димових труб від кислот, що виникають при спалюванні мазуту, працюють не більше 2 – 3 років, в той час як електродугове напилення покриття гарантує захист обладнання протягом не менше 15 років. Нарешті, останнім часом металізаційні-лакофарбові покриття широко використовуються для захисту водопровідних труб. Це дозволяє практично повністю виключити корозійні пошкодження і пов'язані з ними аварії труб протягом 30 – 40 років [19].

За кордоном електродугові покриття широко застосовуються для захисту від корозії залізничних мостів і переходів, освітлювальних опор та огорож

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

автомобільних доріг, різних гідроспоруд, димових труб, обладнання нафтозаводів, будівельних конструкцій і т.п. У Росії покриття використовувалися при будівництві Останкінської телевізійної вежі, в атомних криголамах "Сибір" і "Арктика", на резервуарах різного призначення ТЕЦ, АЕС і т.д. [7].

Покриття піддаються просоченню з метою зменшення пористості і як наслідок це призводить до збільшення фізико-механічних характеристик і корозійної стійкості покриття. Просочення проводиться органічними і не органічними матеріалами [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Для просочення покриттів, призначених для роботи за низьких температур, використовуються віск або фенольні смоли. Для умов експлуатації за помірних температур (100–390 °С) застосовують епоксидні або фенольні смоли. Покриття, просочені силіконовими смолами, демонструють високу стійкість у прискорених корозійних випробуваннях, витримуючи вплив парів солоної води при температурі до 480 °С. [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Електродугове напилення широко використовується для нанесення зносостійких покриттів із різних сталей, бронз та інших матеріалів. Перспективними є псевдосплавні покриття, наприклад, зі сталі та міді, міді та олова, а також інших поєднань.

Цей метод вирізняється універсальністю, оскільки підходить для відновлення деталей, антикорозійного захисту, декоративних покриттів і нанесення псевдосплавів. Висока продуктивність процесу (до 50 кг/год) поєднується з відсутністю деформації деталей, оскільки температура нагріву не перевищує 100–150 °С, а також із збереженням втомної міцності деталей. Електродугове напилення є економічно вигідним, оскільки його собівартість удвічі нижча за наплавлення, а енергоємність процесу залишається низькою. Простота обладнання та технологічність дозволяють виконувати процес навіть без високої кваліфікації виконавця. Специфічна структура покриття забезпечує гарне мастилопроникнення, що підвищує зносостійкість деталей у 1,5–2 рази порівняно з новими. Даний метод застосовується для відновлення деталей, таких

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

як колінчасті вали двигунів КАМАЗ та іншої автотракторної, тепловозній, компресорної техніки; гальмівні барабани, гальмівні диски, диски зчеплень, гальмівні шківни метрополітену; алюмінієві головки блоку циліндрів (площина роз'єму); шатуни двигунів (нижня головка); гільзи циліндрів (внутрішня і зовнішня поверхні); вали роторів, стартерів електродвигунів, шворнів, гідроштоків, прокатні вали шинних заводів та інші деталей типу "вал" будь-якого заводського обладнання; блоки циліндрів будь-яких типорозмірів (опори корінних підшипників) і т.д.

До основних недоліків розглянутого методу можна віднести перегрів і окислення напилюваного матеріалу. Структура напиленого покриття характеризується насиченістю киснем і азотом, а також значною кількістю оксидів. Крім того, висока температура, що утворюється при горінні дуги, спричиняє суттєве вигорання легуючих елементів у складі напилюваного сплаву. Наприклад, вміст вуглецю в покритті знижується на 40–60%, а кремнію і марганцю — на 10–15%. [Ошибка! Источник ссылки не найден., 10]. Це слід враховувати, використовуючи для напилення дрот із підвищеним вмістом легуючих елементів, щоб компенсувати їх вигорання. Однак застосування в електродуговому напиленні лише електропровідних дротів обмежує можливості цього методу, звужуючи спектр матеріалів, які можна використовувати для створення покриттів.

Перспективним напрямком є активоване електродугове напилення, яке має кілька ключових відмінностей. Воно передбачає спільне використання відновлювальних сумішей як транспортуючого газу, оптимальне взаємне розташування сопел і електродів, а також цілеспрямований вплив на зону горіння дуги. Такий підхід дозволяє знизити розбризкування металу на 40%, зменшити кут розпилення в 3,0–3,5 рази, підвищити коефіцієнт використання матеріалу на 25–40% і знизити ступінь окислення покриттів на 40% у порівнянні зі стандартними електродуговими установками. [10].

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Таким чином, універсальність і ефективність нанесення функціональних покриттів електродуговим напиленням, обумовлює можливість його застосування практично у всіх типах виробництва, в ремонтних організаціях і підрозділах.

1.3 Апаратура та устаткування для електродугового напилення покриттів

Установки для електродугового напилення покриттів включають розпилювачі ручного, стаціонарного або комбінованого типу, джерело живлення для дуги, систему подачі стиснутого газу, переважно повітря, і пульт керування. У СРСР систематичне виробництво такого обладнання почалося в 1949 році. Сучасні установки випускаються у комплектному вигляді, що включає електродугові розпилювачі, джерела живлення, касети для дроту та пульти керування. Одним із широко застосовуваних є комплект КДМ-2, створений на базі моделі КДМ-1.

Комплект КДМ-2 включає електродуговий розпилювач ЕМ-14, джерело живлення ТИМЕЗ-500, переносну стійку з катушкою для дроту, пульт керування, повітряний фільтр і засоби індивідуального захисту.

Принцип роботи електродугового розпилювача полягає в подачі через два канали дротів діаметром 1,5–3,2 мм, між якими збуджується електрична дуга, що розплавляє метал. Розплавлений метал розпилюється струменем стиснутого повітря, що витікає з центрального сопла, і у вигляді дрібнорозплавлених частинок переноситься на поверхню основного матеріалу. При напилюванні корозійностійкої сталі та алюмінієвих сплавів замість повітря застосовується азот. Для живлення використовуються джерела постійного струму. Установки КДМ-2 поєднують ефективність, технологічність і зручність у використанні.

Потужність, кВт.....	менше 25
Робочий струм, А.....	менше 400
Робоча напруга, В.....	17...44
Робочий тиск стисненого повітря, мПа.....	0,5...0,6
Витрата стисненого повітря, м ³ /год.....	90
Діаметр розпилюваного дроту, мм.....	1,5...2,0
Швидкість подачі дроту, м/хв.....	2...14
Продуктивність, кг/год за алюмінієм.....	12,5

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

за сталлю.....	10,0
Коефіцієнт використання матеріалу.....	0,70...0,75
Маса комплекту, кг.....	470

Електродуговий розпилювач ЕМ-14 призначений для нанесення покриттів із різноманітних дровових матеріалів і використовується переважно для ручних робіт. У стаціонарних умовах для електродугового напилення покриттів застосовуються моделі розпилювачів ЕМ-12 та ЕМ-15. Конструктивною особливістю ЕМ-12 є наявність змінних шестерень редуктора, які забезпечують вісім ступенів швидкості подачі дроту, що робить подачу матеріалу стабільною та надійною.

Електродуговий розпилювач ЕМ-15 є вдосконаленою модифікацією ЕМ-12. Головна відмінність полягає у вузлі подачі дроту, де використовується двигун постійного струму з тиристорним регулятором обертів. Це дозволяє плавно регулювати швидкість подачі дроту в діапазоні від 1 до 14 м/хв, забезпечуючи високу точність і гнучкість у процесі напилення.

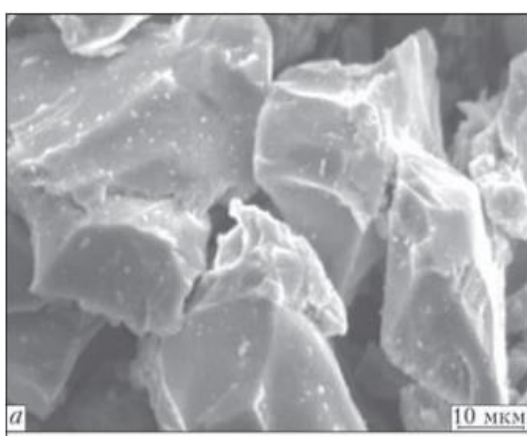
1.4 Напилення металокарбідних покриттів методами ГТН

Газотермічні покриття з керметною структурою, які складаються з металевої матриці на основі сплавів нікелю, кобальту або заліза та зміцнювальної фази, головним чином карбідів вольфраму, хрому чи титану, є найбільш поширеним класом покриттів для захисту поверхонь деталей від різних видів зношування [23-25]. Останнім часом їм приділяється особлива увага завдяки їх потенціалу як екологічно безпечної альтернативи покриттям із твердого хрому. Це сприяє вирішенню сучасних завдань із захисту навколишнього середовища. [26-28].

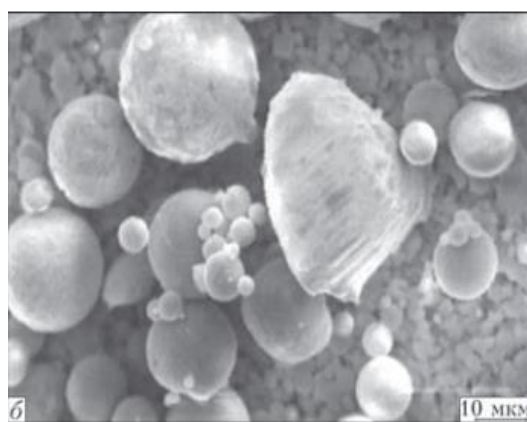
Керметні системи WC-Co та Cr₃C₂-NiCr отримали найширше практичне застосування [25, 28, 29]. Провідні світові компанії, такі як «Starck» (Німеччина), «Sulzer» та «Praxair» (США), розробили склади цих матеріалів і освоїли технології виготовлення порошків, спеціалізованих за своїми властивостями для використання в установках плазмового, детонаційного та високошвидкісного газополуменевого напилення [30-32]. Ці матеріали випускаються у двох формах: у

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

вигляді механічних сумішей порошків карбідів і матричного сплаву або як конгломерати компонентів кермету, що пройшли попередні технологічні операції спікання-дроблення або конгломерування через спікання. Такий підхід дозволяє отримувати високоякісні порошкові матеріали, оптимізовані для конкретних методів напилення. Так на рисунку 1.1 показано загальний вид та мікроструктуру порошків фірми «Bay State Surface Technologies, Inc.» (США) двох типів: PP-53 $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{25}(\text{Ni}20\text{Cr})$ та PP53B $\text{Cr}_3\text{C}_2(\text{Ni}20\text{Cr})$.



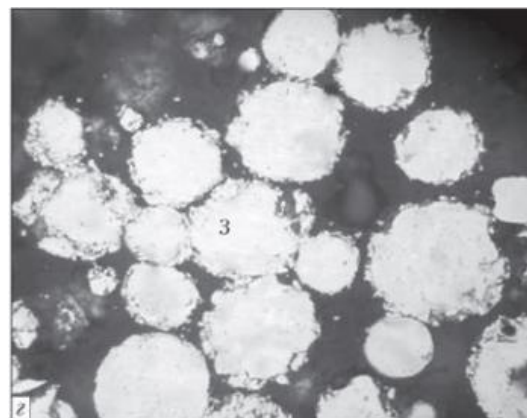
a



б



в



г

Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд (*a, б*) і мікроструктура ($\times 800$) частинок (*в, г*) порошків PP-53 (*a, в*) і PP-53B (*б, г*): 1 - карбідна; 2 - металева; 3 - керметні частки

Так, порошок РР-53 складається з частинок осколкової форми (рис. 1.1, а, в) і є механічною сумішшю карбідних і металевих частинок, які різко відрізняються по мікротвердості (13300 ± 1500 і 1980 ± 600 МПа, відповідно).

Порошок РР-53У складається з частинок сферичної форми (рис. 1.1, б, г) і, судячи зі структури і мікротвердості, кожна частка містить як металеву, так і карбідну фази (мікротвердість частинок змінюється в діапазоні 5000 ... 10500 МПа).

Властивості отриманих покриттів значною мірою залежать від способу отримання порошку [33].

Склади керметів WC-Co для ГТН відрізняються за змістом кобальту (12 ... 17 мас.%) і для підвищення корозійної стійкості додатково легується хромом (4 ... 8 мас.%). Мікротвердість одержуваних покриттів залежить від вмісту кобальту і становить при 12% кобальту $HV_{0,3}$ - 1200 ... 1500, при 17% Co $HV_{0,3}$ - 900 ... 1100 [30]. У складах керметів для ГТН системи Cr_3C_2 -NiCr вміст NiCr знаходиться в межах 15 ... 25 мас. %, а середня мікротвердість істотно змінюється не тільки залежно від кількості NiCr ($HV_{0,3}$ - 1035 для кермету Cr_3C_2 -15% NiCr; $HV_{0,3}$ - 865 для Cr_3C_2 -25% NiCr), але і способу отримання порошку, збільшуючись у разі Cr_3C_2 -25% NiCr до $HV_{0,3}$ – 1100 при переході від використання механічної суміші порошків до порошку, отриманому методом попереднього агломерування суміші дрібних порошків компонентів з подальшим спіканням [33]. Причиною такої зміни є більш однорідний розподіл складових і наявність продукту взаємодії карбіду і сплаву при спіканні.

Важливою експлуатаційною властивістю розглянутих керметних покриттів, що визначає область їх практичного використання, є максимальна температура їх застосування. Згідно з паспортними даними, що подаються фірмами-виробниками спеціалізованих порошків для ГТН, вона становить на повітрі 480 ... 500 ° С для керметів WC-Co і 870 ... 900 ° С для Cr_3C_2 -NiCr [30-32]. Однак в разі кермету Cr_3C_2 -NiCr надійний захист покриття від окислення забезпечується за

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

рахунок формування на його поверхні щільної плівки Cr_2O_3 , що відбувається в області температур 600...700 °С [34].

У зв'язку з цим актуальним є розробка газотермічного керметного покриття, що забезпечує захист поверхні від зношування при робочих температурах, що включають діапазон 500...700 °С. До числа карбідних матеріалів з такою властивістю відноситься подвійний карбід титану-хрому, який має високу стійкість до окислення при температурах до 1100 °С, який в той же час за значенням мікротвердості (до 40 ГПа) перевищує мікротвердість карбіду титану (32 ГПа) і карбіду хрому (22,8 ГПа) [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Експерименти по нанесенню керметних покриттів, які мають подвійний карбід титану-хрому(Ti , Cr) С, базувалися на використанні композиційних порошків (Ti , Cr) С, плакованих нікелем [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.] або нікель-молібденом [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

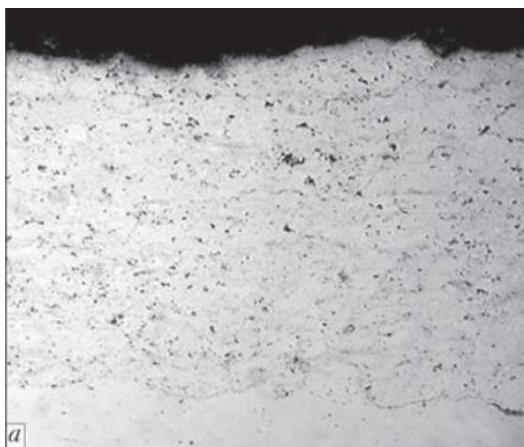
Покриття отримували методом плазмового напилення з використанням в якості робочого газу аргонводневої суміші [Ошибка! Источник ссылки не найден.-Ошибка! Источник ссылки не найден.], а також в умовах повітряно-газового плазмового напилення (ПГПН) при дозвуковому і надзвуковому режимі витікання струменя плазми [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Структура плазмових покриттів, отриманих при використанні Ar/H_2 -плазмового струменя і потужності плазмотрона 30 ... 35 кВт [Ошибка! Источник ссылки не найден.], складається з фази карбіду з мікротвердістю HV 25 ... 30 ГПа, металевої з HV 1,8 ГПа, а також фази, що має HV 15 ... 16 ГПа і є, мабуть, продуктом взаємодії (Ti , Cr) С з металом оболонки частинок (Ni) [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Аналіз фазових і структурних перетворень в порошках чистого і плакованих (Ti , Cr) С, що відбуваються в умовах ПГПН, показав, що при надзвуковому режимі знижується ступінь окислення напилюваного матеріалу і підвищується стійкість оболонки на карбідному ядрі.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

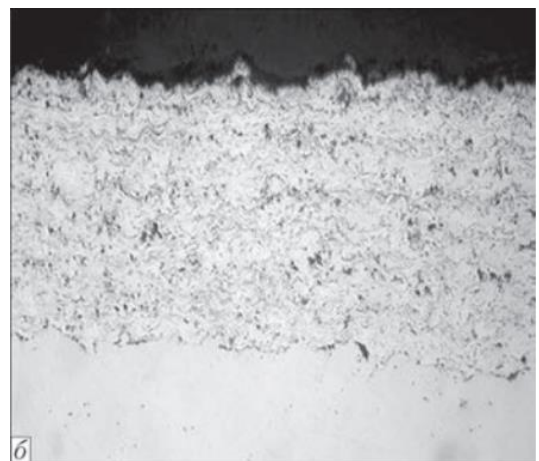
Дослідження жаростійкості плазмових покриттів з композиційних порошків Ni (Ti, Cr) C з вмістом 30 ... 35 мас. % Ni показало, що вони при 800 ° С на повітрі мають досить високий опір окисленню [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.].

У роботі [Ошибка! Источник ссылки не найден.] проведено ряд експериментів з нанесення покриттів з механічної суміші порошків (Ti, Cr) C і NiCr в умовах застосування надзвукового повітряно-газового плазмового напилення з метою встановлення впливу основних факторів напилення на структуру і властивості одержуваних покриттів. Дослідження мікроструктури показали, що покриття характеризуються низькою пористістю (до 1%) з низьким рівнем викришування (5...10%) та відсутністю включень нерозплавлених частинок при найбільшій товщині отриманого шару (до 250 мкм).

Авторами роботи [Ошибка! Источник ссылки не найден.] методом надзвукового повітряно-газового плазмового напилення отримано покриття системи «карбід хрома-ніхром» із застосуванням механічної суміші порошків та агломератів (рис.1.2).



a



б

Рисунок 1.2 – Мікроструктура покриттів із порошків $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ агломерованого (*a*) та механічної суміші (*б*)

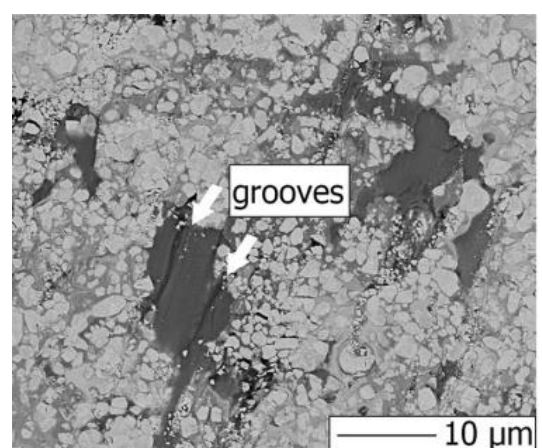
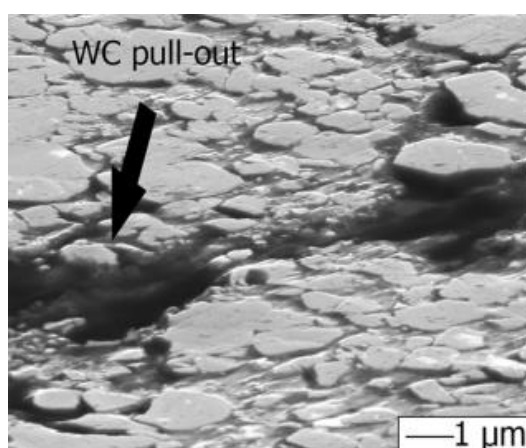
Металографічне дослідження напилених покриттів не виявило принципових відмінностей в їх структурі в залежності від типу порошку (рис. 1.2). Можна

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

лише відзначити більш високу ступінь однорідності покриттів з композиційного порошку в порівнянні з покриттями з механічної суміші. Однак є певні відмінності у показниках мікротвердості: покриття з механічної суміші мають більшу різницю між максимальним та мінімальним значенням, що може свідчити про наявність в структурі, як і в вихідному порошку, ділянок, що містять більш тверді карбідні фази (HV - 11500 МПа) і ділянки, збагачені металом (HV – 9000 МПа).

Автори роботи [43] у якості зміцнювальної фази використовували карбід кремнію, як металеву матрицю – алюміній. Порошок отримували механічним легуванням у барабанному млині. Застосовували порошок кремнію різного середнього розміру: 8 мкм, 15 мкм, 22 мкм та 37 мкм. Склади композиційного порошку кодували з використанням відсотка вмісту і розміру частинок SiC; наприклад, Al-75SiC8 позначає композит з 75 об.% SiC розміром 8 мкм. Досить цікавими є результати визначення міцності зчеплення отриманих покриттів. Так міцність зчеплення при підвищенні вмісту карбіду кремнію від 20% до 75% майже не змінюється і складає близько МПа. Щодо зносостійкості то максимальні значення отримали при вмісті карбідної фази 50%.

У дослідженні [44] було вивчено вплив параметрів високошвидкісного газополуменевого напилення, зокрема кута та дистанції напилення, на зносостійкість керметних покриттів системи WC-17Co. Практичний інтерес викликають дослідження зносостійкості покриттів (рис.1.3).



*a**б*

Рисунок 1.3 – Поверхні тертя покриття WC-17Co

На поверхні тертя спостерігаються ділянки викришування частинок карбідної фази (а), що супроводжуються утворенням канавок тертя на поверхні зразка (б). Це свідчить про недостатньо високу адгезійну міцність покриттів, отриманих із зазначеного порошку, що може обмежувати їх ефективність у застосуваннях з високими механічними навантаженнями.

Отже, для створення композиційних керметних покриттів переважно використовуються методи атмосферного плазмового та високошвидкісного газополуменового напилення. Високошвидкісне газополуменове напилення має ряд переваг, зокрема забезпечує формування покриттів із більш щільною структурою, вищою адгезійною та когезійною міцністю. Ці переваги обумовлені високою швидкістю частинок, що дозволяє зменшити пористість та підвищити якість зчеплення частинок між собою та з основою. Як напилюваний матеріал використовують механічні суміші карбідів та металевої матриці (NiCr, Co, Ni, Fe) або аголомеровані порошки, зокрема нанорозмірні. У випадку застосування агломератів формується більш однорідна мікроструктура покриття зі стабільними показниками фізико-механічних властивостей.

1.5 Напилення композиційних покриттів електродуговим методом

У 90-х роках впровадження спеціальних порошкових дротів для електродугового напилення суттєво розширило можливості цього методу. Це дозволило отримувати композиційні покриття, зносостійкість яких стала порівняною з найкращими плазмовими покриттями. Використання композиційних покриттів у поєднанні з різномірними дротами — порошковими, цільнотянутими або їх комбінацією — значно покращує механічні, корозійностійкі та трибологічні характеристики відновлених поверхонь виробів. Такий підхід забезпечує високу якість покриттів та їх широку адаптацію до різних умов експлуатації. [10].

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Найякісніші композиційні покриття з покращеними експлуатаційними властивостями досягаються при використанні двох або трьох різнорідних дротів суцільного перерізу. Такі псевдосплавні покриття вирізняються високими механічними, трибологічними та корозійностійкими характеристиками. Це забезпечується утворенням щільної структури покриття, а також підвищеною адгезійною та когезійною міцністю, що значно покращує їх довговічність та стійкість до зовнішніх впливів [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., 19]. Суттєвим недоліком псевдосплавних покриттів є те, що їх можна отримувати лише з електропровідних дротів. У випадку використання прутків як напилюваного матеріалу безперервність процесу порушується, що негативно впливає на якість покриття та призводить до зниження його експлуатаційних властивостей.

Використання порошкових дротів для створення композиційних покриттів супроводжується підвищенням пористості, що негативно впливає на їх фізико-механічні властивості. Такі покриття стають дорожчими у виробництві, а високий рівень залишкових напружень сприяє утворенню мікро- і макротріщин, знижуючи когезійну та адгезійну міцність. Ці проблеми особливо актуальні для покриттів великої товщини, які піддаються механічній обробці для досягнення ремонтних розмірів.

Літературні дані [5, 10] вказують на недостатню кількість експериментальних досліджень, спрямованих на створення композиційних покриттів, що поєднують високу зносостійкість із достатньою пластичністю, когезійною та адгезійною міцністю. Відсутність даних про взаємозв'язок між складом шихти порошкових дротів, їх комбінаціями з дротами суцільного перетину та трибологічними властивостями покриттів значно обмежує можливості їх широкого застосування у виробництві.

1.6 Постановка задач дипломної роботи

Аналіз науково-технічної літератури щодо сучасного стану та перспектив розвитку процесів газотермічного нанесення покриттів показує, що найбільш

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

перспективним, простим і економічним є електродуговий метод напилення. Для отримання композиційних керметних покриттів переважно використовуються атмосферне плазмове та високошвидкісне газополуменеве напилення, із застосуванням агломерованих порошків або механічних сумішей. Проте одним із основних недоліків електродугового напилення є необхідність використання виключно електропровідних дротів як розпилюваного матеріалу, що обмежує сферу його застосування. Застосування порошкових дротів хоч і розширює можливості методу, водночас призводить до підвищення вартості покриттів. Крім того, такі покриття характеризуються низькими механічними властивостями та високою пористістю, що знижує їхню ефективність у деяких експлуатаційних умовах.

Мета роботи: дослідження та удосконалення технології отримання металокарбідних електродугових покриттів з композиції 65Г - TiC.

Для отримання якісних композиційних металокарбідних покриттів електродуговим методом необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати модернізацію електродугового розпилювача щодо отримання композиційних металокарбідних покриттів.
2. Дослідити вплив технологічних параметрів режиму напилення композиційних металокарбідних покриттів.
3. Встановити оптимальні параметри режиму напилення щодо отримання композиційних металокарбідних покриттів з заданим складом.
4. Дослідити механічні властивості композиційних металокарбідних покриттів отриманих електродуговим методом напилення.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО РОЗПИЛЮВАЧА ТА ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МЕТАЛОКАРБІДНИХ ПОКРИТТІВ

2.1 Аналіз та модернізація конструкції електродугового розпилювача ЕМ-14М

Вдосконалення апарату ЕМ-14М полягало в створенні вузла безперервної подачі матеріалу у вигляді порошку в високотемпературний струмінь, що витікає з сопла ковпака розпилювальної голівки (рис. 2.1).

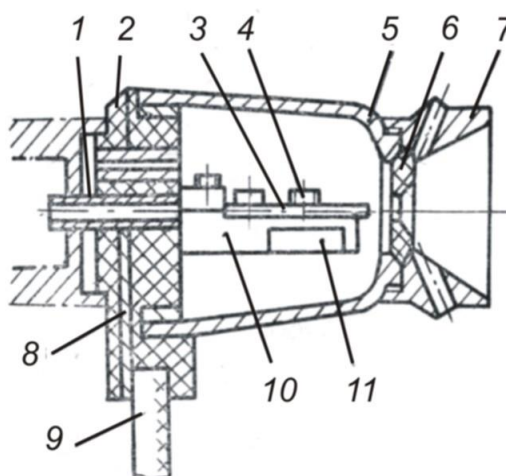


Рисунок 2.1 – Голівка розпилююча:

1 – трубка контактна; 2 – стінка передня; 3 – пластина направляюча; 4 – гвинт спеціальний; 5 – ковпак; 6 – сопло; 7 – захисний екран; 8 – шина; 9 – кабель; 10 – башмак; 11 – скоба

При витіканні струменя стисненого повітря з сопла відбувається інтенсивна інжекція атмосферного повітря в струмінь. Таким чином, якщо підвести до отвору сопла, розташованого в ковпаку розпилювальної голівки, матеріал у вигляді порошку, то він буде інжектуватися разом з атмосферним повітрям в струмінь, що витікає з сопла. Дроти-електроди, що виходять з цього ж сопла, додатково створюють турбулентність потоку стисненого повітря. Це сприяє гарному перемішуванню різних порошкових частинок, фракцією 40...80 мкм, з

краплями розплавленого металу, що в подальшому приводить до рівномірного їх розподілу в покритті.

Оскільки подачу порошку слід здійснювати в потік розплавлених частинок металу, в розпилюючу голівку були внесені конструктивні зміни. Розроблено пристрій безперебійної подачі керамічного порошку в високотемпературну зону електродугового апарату ЕМ-14М (рис. 2.2).

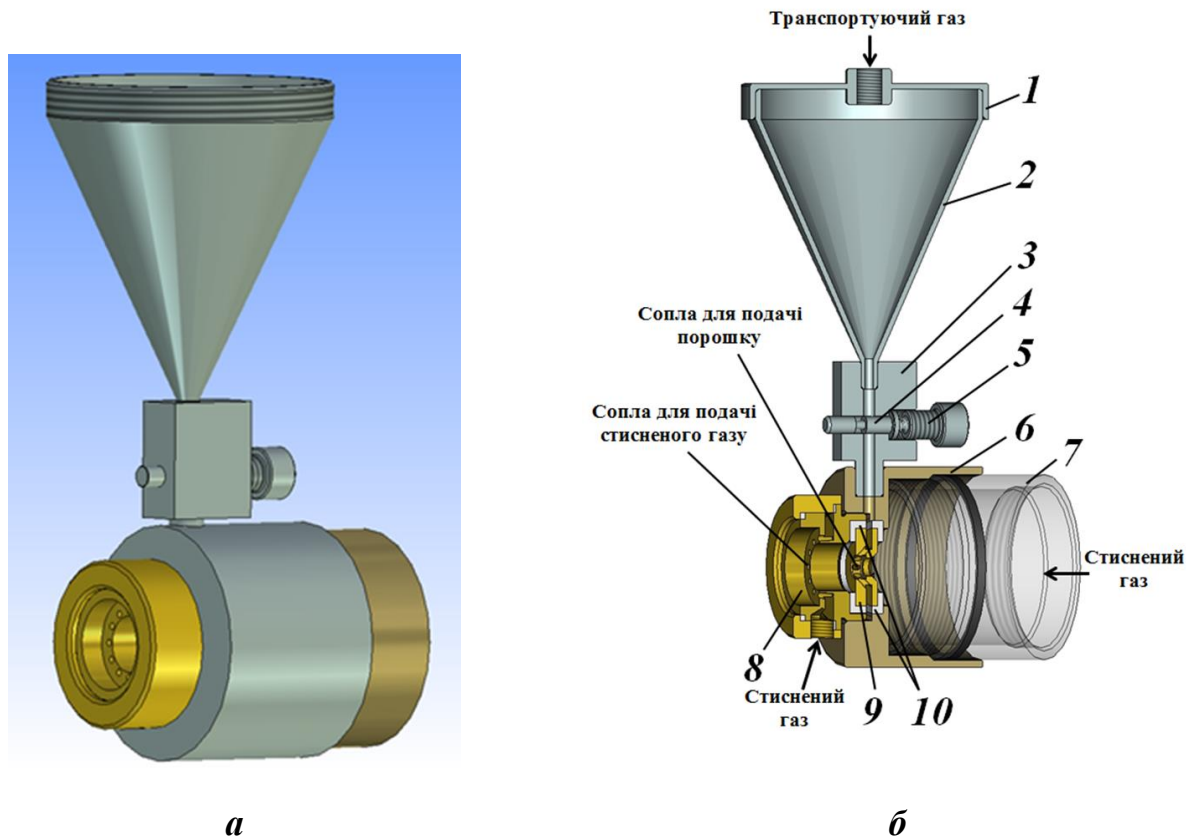


Рисунок 2.2. – 3D модель пристрою для безперебійної подачі керамічного порошку в високотемпературну зону електродугового апарату ЕМ-14М:

а – загальний вигляд; *б* – переріз;

1 – кришка бункеру; 2 – бункер для порошку; 3 – дозуючий пристрій; 4 – важіль керування дозуючим пристроєм; 5 – пружина з гвинтом регулювання дозуючим пристроєм; 6 – ковпак; 7 – перехідник; 8 – захисний екран; 9 – сопло; 10 – ізоляційні вставки.

Розробка пристрою базується на вирішенні задачі, яка спрямована на підвищення коефіцієнта використання матеріалу під час напилення композиційного металокерамічного електродугового покриття. Це, своєю

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

чергою, дозволить суттєво покращити якість отриманих покриттів, забезпечивши їх високу щільність, адгезійну міцність і зниження втрат матеріалу в процесі нанесення.

Поставлена задача вирішується тим, що розпилююча голівка електродугового апарату ЕМ-14М (рис. 2.1), яка призначена для напилення металевих покриттів, містить ковпак розпилюючої голівки. Розроблений пристрій включає ковпак, оснащений робочим бронзовим соплом, яке має кільцеву камеру та транспортувальні сопла для подачі порошку транспортувальним газом. Виходи транспортувальних сопел розташовані під гострим кутом до осі високотемпературного струменя та спрямовані в бік напилюваної поверхні. Отвір основного робочого сопла, через який витікає робочий стиснутий газ, має менший діаметр, ніж отвори транспортувальних сопел, через які подається порошок. Подавання порошку здійснюється за допомогою транспортувального газу. Сопло закріплене в ізоляторах і притиснуте захисним екраном до ковпака. Захисний екран також обладнаний кільцевою камерою з соплами, виходи яких розташовані під гострим кутом до осі струменя та спрямовані у бік напилюваної поверхні, через них подається додатковий стиснутий газ. Така конструкція спрямована на покращення якості нанесення покриття за рахунок оптимального розподілу порошку та підвищення його ефективності.

На рис. 2.2 б представлено переріз пристрою для електродугового напилення композиційних металокерамічних покриттів. Конструкція включає ковпак 6, який кріпиться до передньої стінки розпилювальної голівки за допомогою перехідника 7. У ковпаку 6 розташований пристрій для подачі порошку, що складається з кришки бункера 1, бункера 2 і дозуючого пристрою 3. У корпусі дозуючого пристрою 3 розміщені важіль керування 4 та пружина з гвинтом регулювання 5, які забезпечують точне дозування порошку. Захисний екран 8 фіксує сопло 9, яке встановлено в ізолятори 10, притискаючи його до корпусу ковпака 6. Така конструкція забезпечує надійність роботи пристрою, точність подачі порошку і

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

підвищує якість формованого покриття завдяки стабільності технологічного процесу.

Пристрій для електродугового напилення композиційних металокерамічних покриттів працює у такий спосіб.

У ковпак 6 розпилюючої головки подається робочий стиснений газ, який витікає в атмосферу через сопло 9. Одночасно, в кільцеву камеру захисного екрана 8 також подається стиснений газ, який через сопла, розташовані під гострим кутом до осі струменя, спрямовується у бік напилюваної поверхні. При подачі дротів-електродів між ними утворюється електрична дуга, яка розплавляє їх торці. Точка схрещування дротів відносно сопла 9 регулюється перехідником 7. Робочий стиснений газ зриває краплі рідкого металу з торців електродів, диспергує їх і прискорює, утворюючи гетерофазний потік, спрямований до напилюваної поверхні. Подавання стисненого газу через сопла захисного екрана створює розрідження, яке збільшує швидкість витікання робочого газу через сопло 9, полегшує евакуацію рідкого металу та додає частинкам додаткового прискорення на початковій ділянці струменя. Це також підвищує швидкість частинок на основній ділянці високотемпературного струменя, забезпечуючи якісніше нанесення покриття. Під час натискання на важіль керування 4 здійснюється подача порошку за допомогою атмосферної ежекції. Кількість поданого порошку регулюється гвинтом 5. Для збільшення витрати порошку через отвір у кришці бункера подається транспортуючий газ, який доставляє порошок безпосередньо в зону дугового розряду, де частки краще прогріваються та змішуються з краплями розплавленого металу. Стиснений газ, який виходить через сопла захисного екрана, обтискає високотемпературний струмінь, прискорює частки металу й порошку, а також зменшує кут розкриття струменя. Це значно підвищує коефіцієнт використання матеріалу, що особливо важливо при напилюванні на деталі типу "вал".

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Для регулювання зони подачі порошку призначений перехідник 7. Регулювання здійснюється шляхом викручування ковпака 6 з перехідника 7. Можливі три зони подачі порошку в високотемпературну струмінь (рис. 2.3).

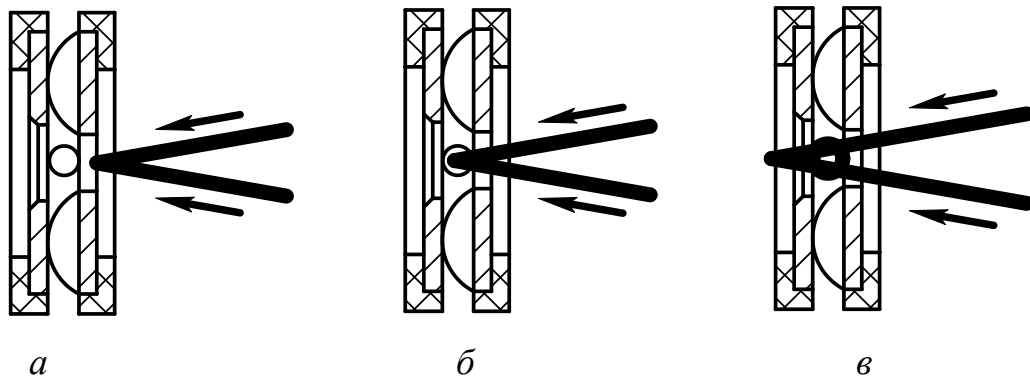


Рисунок 2.3 – Зона подачі порошку:

а – до зони горіння дуги; *б* – в зону горіння дуги; *в* – після зони горіння дуги

Для того щоб зберегти високу швидкість змішаного потоку і запобігти наплавленню розплавленого металу з дрітків-електродів на додаткове сопло довжину циліндричної камери змішування потрібно вибирати не більше 3 мм. У цьому випадку не буде відбуватися наплавлення розплавленого металу на додаткове сопло, а частинки порошку, що подаються в зону горіння дуги, перемішуватимуться з рідкими металевими частинками і будуть формувати разом з стисненим повітрям гетерофазний струмінь.

Регулюючи подачу порошку за допомогою дозуючого пристрою та швидкість подачі дрітків, можна варіювати концентрацію порошкових частинок у напиленому шарі. Це дозволяє отримувати композиційні металокерамічні покриття із заданими властивостями, адаптованими до конкретних умов експлуатації, шляхом оптимізації співвідношення металевої матриці та зміцнювальної керамічної фази.

Розроблений пристрій дозволяє широко регулювати концентрацію порошкових частинок у високотемпературному струмені, а отже, і в

композиційному електродуговому покритті. Завдяки цьому забезпечується адаптація складу покриття до специфічних вимог експлуатації. Пристрій також покращує якість покриття за рахунок збільшення швидкості часток у струмені та зменшення кута його розкривання. Це сприяє підвищенню коефіцієнта використання матеріалу під час напилення, роблячи процес більш ефективним і економічним.

Використання такого способу, що пропонується, є ефективним при отриманні нових та відновленні зношених поверхонь конструкцій, деталей, вузлів тощо.

Економічний ефект від впровадження запропонованого технічного рішення полягає в підвищенні коефіцієнта використання матеріалу при електродуговому напиленні композиційних металокерамічних покриттів. Це сприяє збільшенню надійності та довговічності конструкцій, деталей і вузлів, що входять до складу різних машин і механізмів, а також зниженню собівартості їх виготовлення та відновлення робочих поверхонь.

Суспільна користь реалізується через збільшення ресурсу роботи машин, механізмів і конструкцій завдяки використанню електродугових композиційних металокерамічних покриттів. Ці покриття мають значно вищі фізико-механічні та експлуатаційні властивості порівняно з ненаповненими покриттями, що робить їх перспективними для застосування в авіа-, судно-, машинобудуванні та інших галузях промисловості України. Поєднання високої технологічності з покращеними експлуатаційними характеристиками відкриває широкі можливості для їх використання в різноманітних промислових сферах.

2.2 Дослідження порошку карбіду титану

Для отримання композиційних металокарбідних електродугових покриттів використовували порошок карбіду титану виробництва фірми «Штарк» марки Амперит 570 [4]. Даний порошок отримують методом спікання та дроблення з хімічним складом, %C: 19,35 - 19,7. Насипна щільність складає 1,6 – 2,1 г/см³.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Просушування порошку перед напильням виконували у сушильній шафі з типу СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3,5-ИИМ при температурі 600 °С протягом 3 годин.

Мікроструктуру порошку наведено на рис. 2.4.

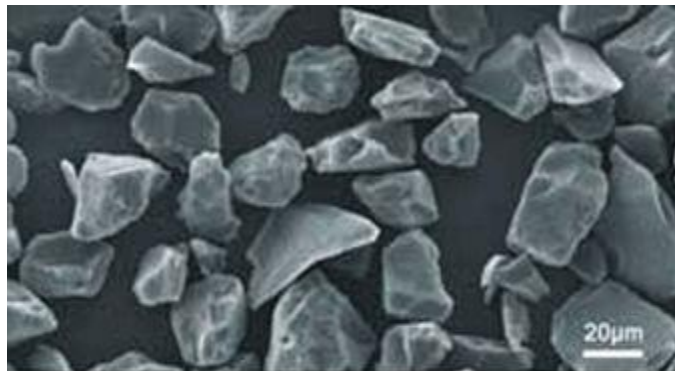


Рисунок 2.4 – Мікроструктура порошку TiC

Форма частинок осколкова несферична, що пояснюється методом його отримання. За отриманими мікроструктурами визначали гранулометричний склад порошку. Результати досліджень наведено на рис. 2.5.

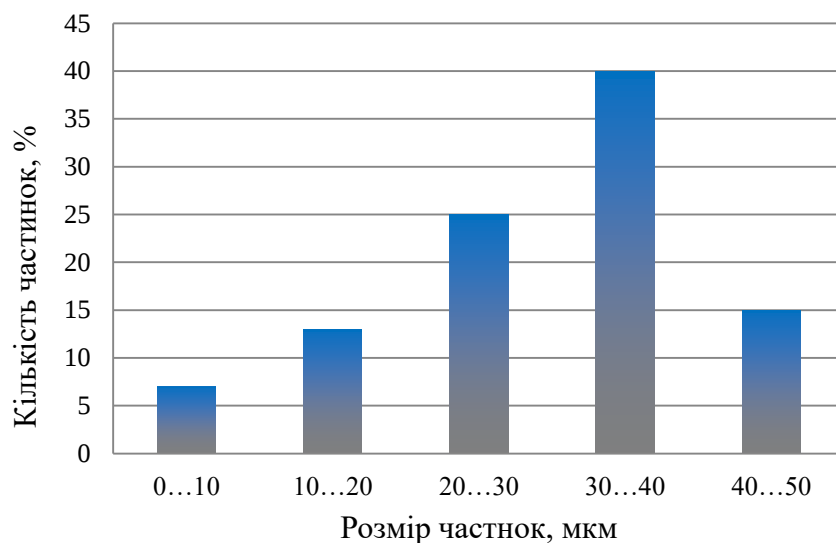


Рисунок 2.4 – Гранулометричний склад частинок порошку TiC марки Амперит 570

Згідно наведених даних розмір частинок складає коливається у діапазоні від 0 до 50 мкм. Середній розмір частинок складає 38 мкм.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

2.3 Отримання металокарбідних покриттів з композиції 65Г – TiC та дослідження їх мікроструктури

При електродуговому напиленні плавлення дротів-електродів здійснюється електричною дугою, температура якої може досягати 6000 °С [16]. Температура металу на торцях дротів-електродів, за даними робіт [12, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**], складає 2100 – 2500 °С. Згідно роботи [5], на відстані приблизно 10% від загальної дистанції напилювання, температура частинок розплавленого металу знижується до 1500 °С і далі залишається незмінною до кінця дистанції за рахунок прихованої теплоти плавлення. Стиснене повітря, проходячи через електричну дугу і початкову ділянку струменя, розігрівається до 900 – 1000 °С і далі за рахунок інтенсивної інжекції атмосферного повітря в струмінь охолоджується до 500 – 600 °С на дистанції 100 мм [6].

Як напилюваний матеріал використовували дріт марки 65Г ГОСТ 9389-75 діаметром 1,2 мм. Хімічний склад якого наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад дроту 65Г

Елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
Кількість, %	0,62- 0,7	0,17- 0,37	0,9-1,2	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2	~97

З вище сказаного випливає, що для отримання металокерамічних покриттів з композицій 65Г – TiC карбідний порошок слід подавати після зони горіння дугового розряду (рис. 2.3 в), а сам процес напилення проводити при підвищеній потужності електродугового розпилювача. Зону подачі карбідного порошку регулювали за допомогою перехідника (рис. 2.2).

Для підготовки поверхні зразків застосовувалася установка струменево-абразивної обробки марки 026-7 «Ремдеталь». Як абразивний матеріал використовували електрокорунд марки 7Б із шліфзерном номер 125 відповідно до ОСТ 5.9957–85. Очищення стисненого повітря, що використовувалося для струменево-абразивної обробки та напилення, здійснювали за допомогою вологомастиловідділювача відповідно до вимог ОСТ 5.9829–81.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Режими нанесення металокарбідних покриттів визначали експериментально. Сила струму варіювалася в діапазоні від 80 до 160 А, напруга на дузі становила 35–40 В. Витрати порошку складали 25–35 г/хв, тиск стисненого повітря підтримували на рівні 0,4–0,6 МПа, а дистанція напилення становила 80 мм.

При силі струму менше 80 А подача карбідного порошку в зону дугового розряду спричиняє нестійкість горіння електричної дуги. Це призводить до пульсацій дуги, які викликають утворення краплеподібних частинок на напилюваній поверхні, що негативно впливає на якість покриття. Зі збільшенням сили струму понад 160 А спостерігається поділ потоку розплавлених частинок металу на два окремих потоки, що виходять з кожного дроту-електроду. Це знижує вміст керамічних частинок у композиційному покритті, що погіршує його якість та експлуатаційні характеристики.

Підвищена напруга при нанесенні металокарбідних покриттів сприяє збільшенню ентальпії частинок розплавленого металу. Це, у свою чергу, підвищує вміст карбідних частинок у покритті та покращує їх міцність зчеплення з підкладкою, що позитивно впливає на загальні експлуатаційні характеристики покриття.

Збільшення тиску стисненого повітря позитивно впливає на процес нанесення металокарбідних покриттів, оскільки забезпечує вищу інжекцію карбідного порошку в високотемпературний струмінь та збільшує їх швидкість. Це призводить до підвищеного вмісту карбідних частинок у покритті. Евакуйований розплавлений метал, що виходить з торців дротів-електродів, диспергується на більш дрібні частинки, що покращує якість металокарбідних покриттів.

Дистанцію напилення було вибрано рівною 80 мм з припущенням, що тугоплавка карбідна частка за час проходження через високотемпературну зону дугового розряду та всю подальшу дистанцію напилювання не розплавиться. Досягнувши високої швидкості, ці частки при зіткненні з пластичними частинками металу закріплюються в покритті. Експериментально підтверджено,

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

що при дистанції напilenня менше 80 мм відбувається перегрів підкладки, що призводить до стікання розплавленого металу з зразка. При дистанції понад 80 мм непроплавлені частинки TiC не закріплюються в мікронерівностях підкладки і покриття, а відскакують від них, що знижує вміст наповнювача в покритті.

На рис. 2.5 приведені мікроструктури металокерамічного покриття з композиції 65Г-TiC. Знімки мікроструктур були отримані за допомогою цифрової камери *Delta Optical HDCE-20C*, яка укомплектована програмним забезпеченням для обробки зображень *Scope Image 9.0*, на оптичному металографічному мікроскопі ММУ-3. Розмірну лінійку на знімках встановлювали за допомогою об'єкта мікрометра ГОСТ 7513-55, який фотографували на тому ж збільшенні, що й відповідну мікроструктуру.

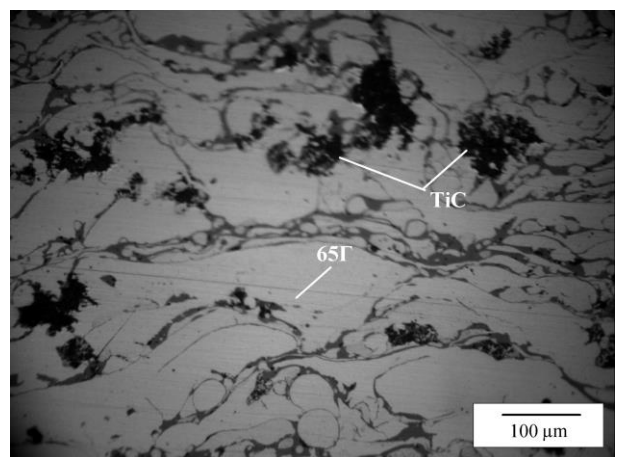
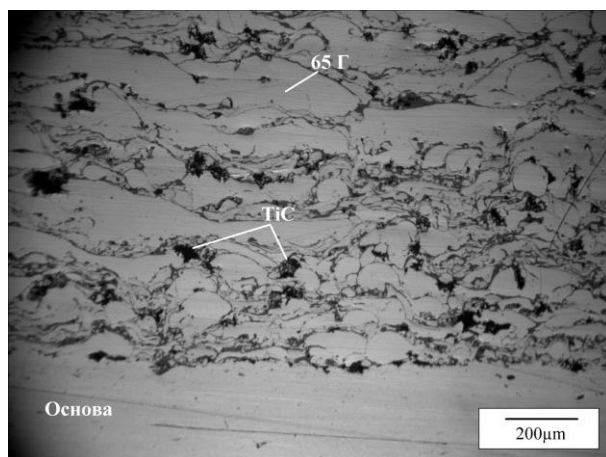


Рисунок 2. 5 – Мікроструктури композиційного металокарбідного електродугового покриття 65Г-TiC

Аналіз мікроструктур показав, що покриття має пористість близько 6%, при цьому добре диференціюються частинки карбіду титану темного кольору. Для підтвердження ідентифікації фаз (металевої та карбідної) було проведено визначення мікротвердості та хімічний аналіз по точках за допомогою растрового електронного мікроскопа з мікроаналізатором РЕММА 102-02. Це дозволило детально оцінити склад і структуру покриття, підтвердивши наявність карбідної та металевої фаз у його складі.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Мікротвердість покриттів визначали на приладі ПМТ 3 при навантаженні 100 г (рис. 2.6).

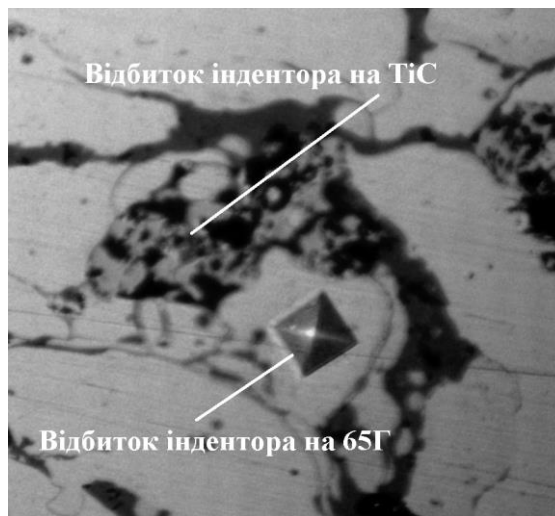
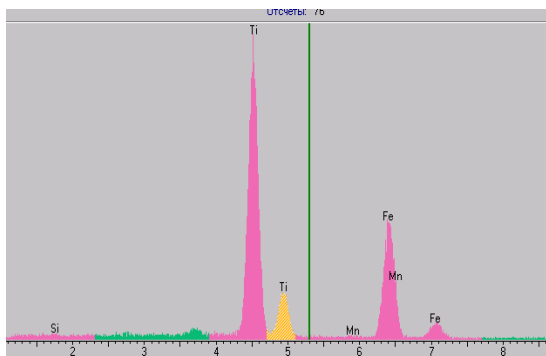
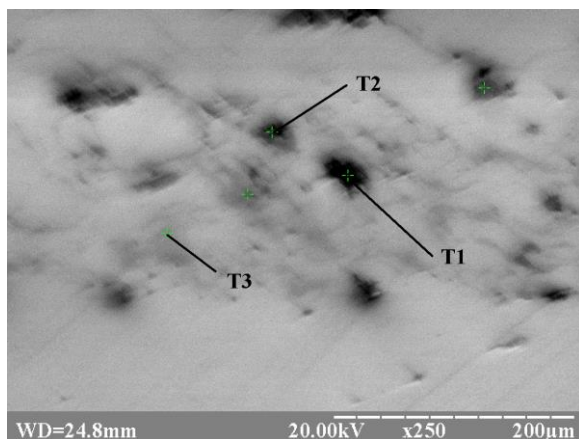


Рисунок 2.6 – Визначення мікротвердості металевої основи та карбідної фази отриманих покриттів

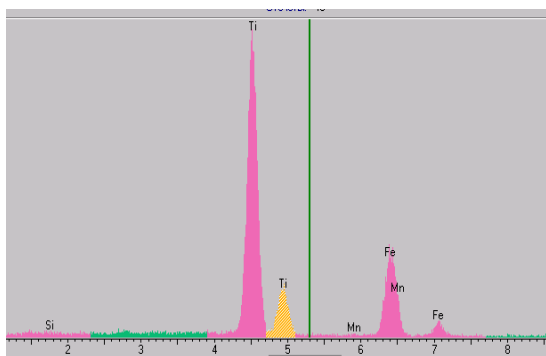
Мікротвердість металевої матриці (світла фаза) склала близько 3,2 ГПа; карбідної – 31 ГПа. За літературними джерелами мікротвердість карбіду титану складає 32 ГПа [Ошибка! Источник ссылки не найден.], що дає підстави стверджувати, що це саме карбід титану. На рис. 2.7 наведено результати хімічного аналізу отриманих зразків.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		



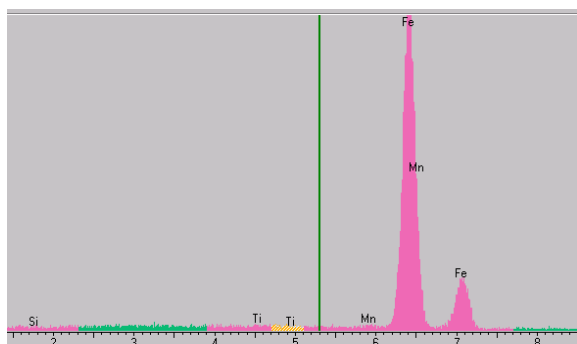
Элемент	Инт.	С %	Атом. %	Кэф.
C	0	0.00	0.000	0.000
Si	566	0.48	0.878	0.088
Ti	90847	44.55	48.154	4.815
Mn	614	0.61	0.571	0.057
Fe	37496	54.36	50.397	5.040

T1



Элемент	Инт.	С %	Атом. %	Кэф.
C	0	0.00	0.000	0.000
Si	135	0.10	0.184	0.018
Ti	119321	53.55	57.283	5.728
Mn	309	0.28	0.262	0.026
Fe	34572	46.07	42.271	4.227

T2



Элемент	Инт.	С %	Атом. %	Кэф.
C	0	0.00	0.000	0.000
Si	19	0.01	0.017	0.002
Ti	-21	0.00	0.000	0.000
Mn	809	0.34	0.344	0.034
Fe	159132	99.65	99.640	9.964

T3

Рисунок 2.7 – Результати хімічного аналізу електродугових металокарбідних покриттів композиції 65Г-TiC

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Аналіз наведених даних показує, що темна фаза у структурі покриття (точки Т1 та Т2) характеризуються підвищеним вмістом титану: 48,1% та 57,2% атом. Відповідно, що приблизно відповідає фазі TiC. Точка Т3 відповідає металевій основі з високою концентрацією заліза, марганцю та кремнію та відсутністю титану.

Таким чином, виконаний металографічний, хімічний аналізи та дослідження мікротвердості дає підстави стверджувати, що за допомогою електродугового напилення вдалося отримати металокарбідне покриття композиції сталь 65Г-TiC з використанням порошку TiC у вільному вигляді.

2.4 Висновки до розділу 2

1. Досліджено вихідний порошок карбіду титану марки Амперит 570, а саме гранулометричний склад та середній розмір частинок порошку, що склав 38 мкм.

2. Композиційні металокарбідні покриття з композицією 65Г – TiC були отримані за допомогою вдосконаленого електродугового апарату ЕМ-14М.

3. Встановлено, що пористість покриттів складає близько 6%. Мікротвердість металевої матриці становить 3,2 ГПа, а карбідної фази — 31 ГПа, що відповідає мікротвердості карбіду титану.

4. Проаналізовано хімічний склад фаз у покритті. Встановлено, що темна фаза має підвищену концентрацію титану (близько 50%), що приблизно відповідає фазі TiC.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАПИЛЕННЯ НА СКЛАД КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

3.1 Визначення вмісту карбідної фази

Визначення вмісту карбідної фази проводили планіметричним методом за отриманими мікроструктурами. Вибір цього методу обумовлений його ефективністю в металографічній практиці при низькому вмісті аналізованої фази (порядку декількох відсотків). У таких випадках планіметричний метод є надійнішим за точковий та лінійний методи [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Планіметричний метод ґрунтується на точному вираженні [Ошибка! Источник ссылки не найден.]:

$$\sum V_{\alpha} = \sum F_{\alpha} = \sum h_{\alpha} = \sum z_{\alpha} / z \quad (2.1)$$

де $\sum V_{\alpha}$ – доля фази α у сплаві або сумарний об'єм усіх мікрочастинок цієї фази в одиниці об'єму мікроструктури, $\text{мм}^3/\text{мм}^3$; $\sum F_{\alpha}$ – середня сумарна величина площі, що зайнята фазою α на одиниці площі двовірної структури, $\text{мм}^2/\text{мм}^2$; $\sum h_{\alpha}$ – середня сумарна довжина відрізків, що проходять по фазі α , на одиницю довжини січної, $\text{мм}/\text{мм}$; $\sum z_{\alpha} / z$ – середнє сумарне відношення точок, що потрапляють на α фазу до загальної кількості точок.

Згідно цього рівняння об'ємна частка структурної складової дорівнює частці площі, займаної нею на шліфі. Тому планіметричний метод зводиться до заміру сумарної площі перетинів мікрочастинок даної структурної складової на певній площі металографічного шліфа.

На рис. 3.1 наведено типову мікроструктуру композиційного металокарбідного електродугового покриття 65Г-ТіС

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

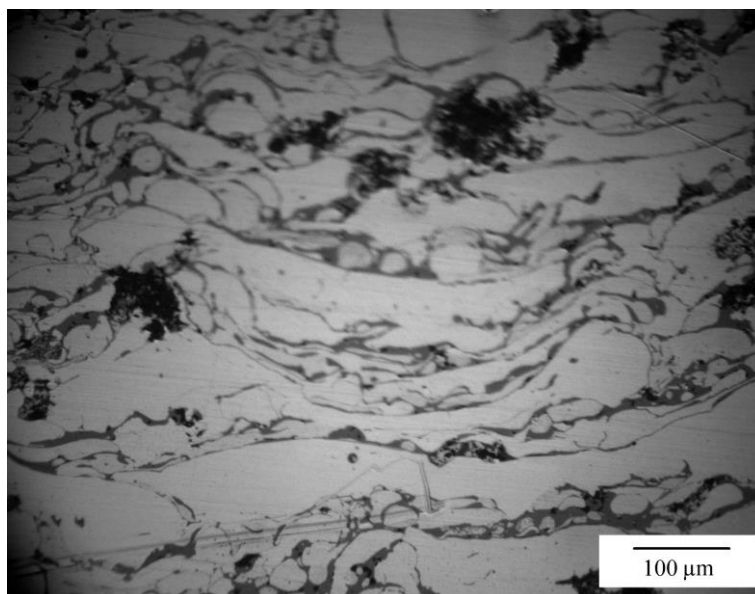


Рисунок 3.1 – Мікроструктури композиційного металокарбідного електродугового покриття 65Г-TiC

Отримані знімки були оброблені у програмі *Adobe Photoshop CS5* з підбором контрастності для виявлення карбідної фази. Після чого на фотографії накладали сітку розмірами 16×8 клітинок, тобто загальна кількість клітинок склала 128 (рис.3.2).

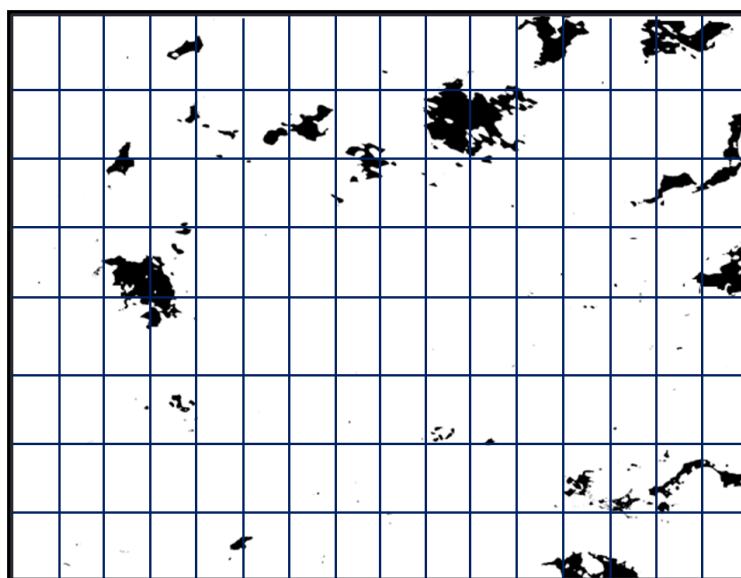


Рисунок 3.2 – Оброблений знімок мікроструктури композиційного металокарбідного електродугового покриття 65Г-TiC

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Для того, щоб визначити об'ємний вміст пір необхідно підрахувати кількість клітинок, що вони займають. Потім отриману кількість ділять на загальну кількість клітинок. Наприклад, при визначенні вмісту карбідної фази за допомогою сітки за трьома полями зору, що містить 128 ($128 \cdot 3 = 384$) клітинок, карбідна фаза потрапила на 97 з них. Тоді її вміст знайдемо як відношення числа 97 до загальної кількості клітинок, що використовувалася в експерименті, вона складатиме 0,252 або 25,2 % (об.).

3.2 Вплив параметрів напилення на склад композиційних покриттів

Для досягнення оптимальних фізико-механічних і експлуатаційних властивостей у металокарбідних покриттях необхідно регулювати технологічні режими напилення, забезпечуючи потрібний вміст наповнювача в покриттях.

На якість електродугових композиційних покриттів наповнених твердими частинками впливає велика кількість чинників, таких як природа твердих частинок і їх вміст, сила струму, напруга на дузі, рід і витрати розпилювального газу, дистанція напилення т.д. Внаслідок цього, в залежності від умов експлуатації виробу та вимог до покриття, для кожного конкретного випадку режим електродугового напилення підбирається експериментальним шляхом.

Аналізуючи попередні дослідження авторів робіт [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.] щодо впливу технологічних параметрів електродугового напилення на вміст наповнювача при формуванні композиційних покриттів як найбільш значущі обрано: силу струму та тиск стисненого газу. У таблиці 3.1 наведено рівні варіювання вказаних технологічних параметрів та відповідно кількість отриманої карбідної фази, визначеної за методикою, описаною у попередньому підрозділі.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

**Таблиця 3.1 – Рівні варіювання технологічних параметрів та склад
отриманих покриттів**

Сила струму на дузі, А	Тиск стисненого газу, МПа	Кількість карбідної фази у покритті, % (об.)
80	0,4	11,5
120	0,5	18,4
160	0,6	25,2

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що вміст TiC у відповідних композиційних покриттях значно збільшується з підвищенням сили струму. Зі збільшенням сили струму зростає продуктивність процесу, що призводить до підвищення концентрації розплавлених частинок металу в струмені, їх ентальпії і, відповідно, вмісту наповнювача в покритті. З підвищенням тиску стисненого повітря збільшується інжекція порошку в високотемпературний струмінь і швидкість часток у ньому, що також сприяє підвищенню вмісту карбідної фази в композиційних покриттях. Використання максимальних значень технологічних параметрів, таких як сила струму 160А і тиск стисненого газу 0,6 МПа, забезпечило отримання 25,2 % карбідної фази (TiC) у композиційних електродугових покриттях.

3.3 Дослідження міцності зчеплення отриманих покриттів

У літературі, присвяченій дослідженню когезійної та адгезійної міцності газотермічних покриттів, основна увага приділяється останній [47]. Це, ймовірно, пояснюється тим, що під час експлуатації газотермічних покриттів часто спостерігається їх відшарування від матеріалу основи, що сприяло формуванню переконання, що адгезійна міцність є лімітуючим параметром. Методи прямої кількісної оцінки дозволяють визначити адгезійну міцність у фізичних одиницях, при цьому під міцністю зчеплення розуміють роботу або зусилля, мінімально необхідні для повного видалення покриття з контактної поверхні [48].

Одним з основних методів визначення міцності зчеплення покриття з основним металом є штифтовий метод [48], який дозволяє оперативно проводити випробування безпосередньо після нанесення покриття на зразки, що й було застосовано в даній роботі. Зразком є бобишка, в отвір якої встановлюється штифт таким чином, що його торцева поверхня знаходиться на рівні площини основи бобишки (рис. 3.3). На загальну поверхню торця штифта і бобишки після відповідної підготовки наноситься покриття. Випробування проводять шляхом витягування конусного штифта з бобишки, при цьому фіксується зміна зусилля. Після відриву штифта від покриття визначають відношення максимального навантаження до площі торця штифта. Це відношення є кількісною характеристикою з'єднання покриття з основою.

Для розтягування зразків використовували розривну машину УММ-5. Зразки для визначення міцності зчеплення виготовляли з вуглецевої конструкційної сталі 45.

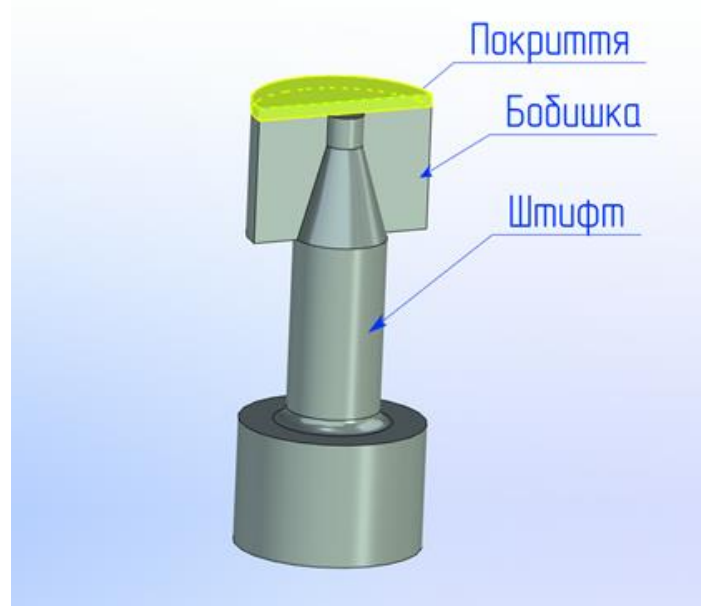


Рисунок 3.3 – Зразок для визначення міцності зчеплення покриттів з основою

Перед нанесенням покриттів поверхню, що підлягала напиленню, обезжирювали технічним етанолом та піддавали струменево-абразивній обробці. Товщина нанесених покриттів становила 0,5–0,6 мм. Для отримання результатів

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

міцності зчеплення покриттів з основою напилення виконували в один прохід на 3 зразки, при цьому використовували один режим. Результати визначення міцності зчеплення напилених та оброблених покриттів з зазначених матеріалів представлені на рис. 3.4.

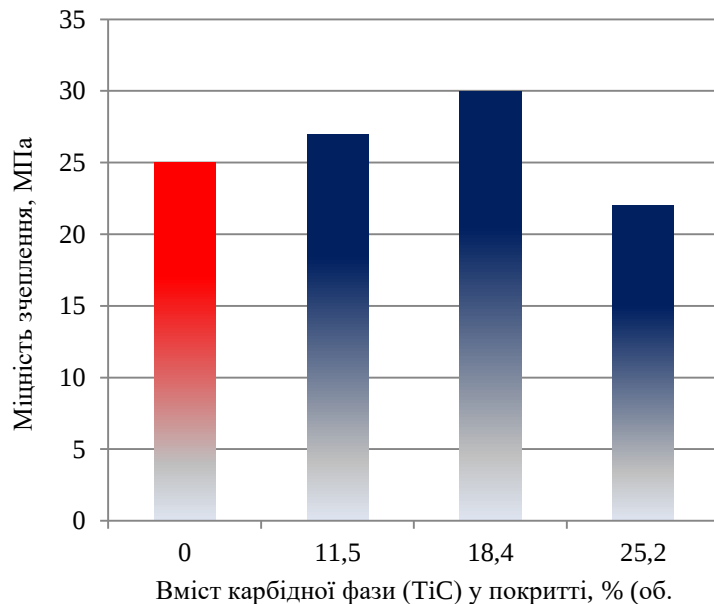


Рисунок 3.4 – Результати визначення міцності зчеплення композиційних металокарбідних електродугових покриттів 65Г-TiC

Згідно з представленими даними, залежність міцності зчеплення від вмісту карбідної фази у покриттях має екстремальний характер. Міцність зчеплення покриття без TiC становить 25 МПа. Максимальне значення міцності зчеплення (30 МПа) було досягнуто при вмісті карбідної фази 18,4%. Оскільки частинки карбиду титану мають високу твердість і кінетичну енергію, вони додатково активують напилювану поверхню, що сприяє підвищенню міцності зчеплення. Зниження цієї характеристики при підвищенні вмісту TiC до 25,2% пояснюється значним зниженням фактичної площі контакту покриття з основою.

3.4 Висновки до розділу 3

1. За допомогою планіметричного методу було визначено вміст карбіду титану у отриманих електродугових покриттях композиції 65Г-ТіС.

2. Встановлено, що підвищення сили струму збільшує продуктивність процесу, що призводить до зростання концентрації розплавлених частинок металу в струмені, їх ентальпії та вмісту наповнювача в покритті. Збільшення тиску стисненого повітря також сприяє підвищенню інжекції порошку в високотемпературний струмінь та швидкості часток, що збільшує вміст карбідної фази в композиційних покриттях.

3. Проведено експериментальні дослідження впливу вмісту карбідної фази на міцність зчеплення металокарбідних покриттів. Залежність міцності зчеплення від вмісту карбідної фази у покриттях має екстремальний характер. Максимальне значення міцності зчеплення (30 МПа) було досягнуто при вмісті карбідної фази 18,4%.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПИЛЕННЯ МЕТАЛОКАРБІДНИХ ПОКРИТТІВ

При розробці технологічних рекомендацій щодо напилення газотермічних покриттів використовували ОСТ 5.9957-85. Технологічний процес отримання газотермічних покриттів з використанням електроімпульсної дії та наступної термічної обробки включає наступні послідовні етапи:

- вибір і підготовка матеріалів, які застосовуються при нанесенні газотермічних покриттів;
- підготовка поверхні під нанесення газотермічного покриття;
- вибір режиму напилення газотермічного покриття;
- напилення газотермічного покриття;
- механічна обробка напилених покриттів;
- визначення фізико-механічних властивостей напилених покриттів.

Технологічна схема процесу наведено на рис. 4.1.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1 – Технологічна схема електродугового напилення композиційних покриттів

4.1 Вибір і підготовка матеріалів, які застосовуються при нанесенні газотермічних покриттів

Вихідні матеріали повинні відповідати державним стандартам і технічним умовам на поставку. Матеріали, що використовуються при струменево-абразивній обробці, повинні бути сухими, без масляних та інших забруднень.

Стиснуте повітря, яке застосовується при підготовці поверхні під нанесення покриття, повинно бути без вологи та масла. Очистку стисненого повітря слід проводити шляхом пропускання через вологомастиловідділювач відповідно до ОСТ 5.9829-81. Клас забрудненості стисненого повітря має бути непарним за ГОСТ 17433-84.

Визначення ваги порошків проводиться на лабораторних вагах загального призначення за ГОСТ 24104, які забезпечують точність зважування з похибкою не більше 0,05 г.

Підготовку порошку карбіду титану перед напиленням виконують у сушильній шафі з регулюванням температури до 600 °С типу СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3,5-ІІМ. При зберіганні порошків у сушильній шафі при температурі 70–90 °С термін зберігання необмежений, а в герметичній тарі з водопоглинаючими реагентами — не більше 90 діб. В коморах при температурі повітря не нижче 18 °С і відносній вологості не більше 50% в тарі з полімерної плівки термін зберігання порошків не повинен перевищувати 5 діб.

4.2 Підготовка поверхні під нанесення газотермічного покриття

Підготовка поверхні під нанесення газотермічного покриття складається з наступних операцій:

- знежирення;
- захист поверхні, що не підлягає струменево-абразивній обробці;
- струменево-абразивна обробка;
- захист поверхні, що не підлягає нанесенню покриття.

Знежирення поверхні слід проводити згідно з ОСТ 5.9582-81, використовуючи водні лужні розчини, зазначені в цьому стандарті.

Струменево-абразивну обробку слід проводити відповідно до ОСТ 5.9829-81. Поверхні, що не підлягають обробці, повинні бути захищені від впливу абразивних частинок за допомогою екранів з металу або іншого абразивно-стійкого матеріалу, такого як гума або фторопласт. Рекомендований спосіб захисту включає нанесення шару пасти, що складається з 30% криоліту, 10%

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

рідкого скла та 60% води. Під час нанесення покриття паста утворює кірку, яку легко видалити з поверхні за допомогою щіток.

Для струменево-абразивної обробки слід використовувати установку марки 026-7 "Ремдеталь" або інше обладнання, призначене для струменево-абразивної підготовки поверхні. В якості абразиву застосовується електрокорунд марки 7Б, шліфзерно номер 125.

Струменево-абразивну обробку поверхні необхідно проводити на наступному режимі:

Тиск стисненого повітря, МПа 0,4...0,6;

Відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні, мм 50...120;

Діаметр сопла, мм 8...12;

Кут падіння струменя на оброблювану поверхню, град 60...90;

Лінійна швидкість переміщення пістолета, мм/хв 50...400.

Обробка ведеться в кілька проходів. Зона струменево-абразивної обробки повинна бути більше зони напилення на ширину не менше 5 мм з кожного боку.

Після струменево-абразивної обробки необхідно видалити металевий пил з обробленої поверхні за допомогою пилососа промислового призначення.

На підготовленій для нанесення покриття поверхні не повинно бути мастила, вологи, пилу, плям від захоплення руками та інших забруднень. Підготовлена поверхня повинна мати сірувато-матовий відтінок. Параметри шорсткості мають відповідати вимогам ГОСТ 9.304-84. Після завершення процесу підготовки поверхні категорично забороняється торкатися до неї руками або брудним інструментом.

При підготовці та транспортуванні підготовлених до нанесення покриттів деталей необхідно використовувати знежирені, чисті інструменти та пристосування, а також чисті брезентові або бавовняні рукавички згідно з ГОСТ 10354-82.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

У разі неможливості нанесення покриття безпосередньо після підготовки, оброблену поверхню необхідно покрити чистою поліетиленовою плівкою для запобігання потрапляння на неї масла, вологи та пилу.

Підготовлені заготовки для нанесення покриття слід зберігати у виробничих приміщеннях при температурі повітря не нижче 15 °С і відносній вологості не вище 70%. Якщо це необхідно, допускається зберігання на відкритих площах при температурі не нижче +5 °С. Вміст у повітрі корозійно-активних реагентів не повинен перевищувати допустимих норм.

Термін зберігання заготовок, підготовлених до нанесення покриття, не повинен перевищувати 5 годин після завершення струменево-абразивної обробки. У разі порушення вимог до процесу підготовки, транспортування та зберігання заготовок з обробленою поверхнею слід повторити всі операції підготовки.

4.3 Напилення газотермічного покриття

Рекомендований режим напилення композиційного електродугового покриття композиції 65Г-ТіС

Сила струму, А120

Тиск стисненого газу, МПа0,6

Дистанція напилення, мм80

Критерії якості нанесених електродугових покриттів включають мінімальні показники пористості та кількість несучільностей на лінії підкладка-покриття. Для досягнення необхідної товщини покриття розпилювач переміщається щодо напилюваної поверхні у 3–5 проходів. Покриття наноситься з припуском на подальшу шліфовку не менше 0,3 мм.

Нагрів підкладки під час нанесення покриття не повинен перевищувати 100–150 °С. Для охолодження поверхні допускаються короточасні перерви (до 10 хвилин) між закінченням одного і початком іншого проходу розпилювача.

При нанесенні покриття важливо, щоб встановлені параметри режиму напилення залишалися стабільними. Горіння електричної дуги повинно бути

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

стійким, без пульсацій, а подача порошку повинна бути рівномірною, без закупорки отворів для подачі порошку та без потрапляння на поверхню каплеподібних частинок металу.

У процесі напилення та після нього проводиться контроль за станом покриття, щоб виявити сторонні включення, тріщини, сколи, відшарування, здуття, непроплавлені частинки та місця перегріву. Якщо виявлені дефекти, необхідно провести механічну обробку пошкоджених ділянок і довколишнього покриття на відстані 20–40 мм. Допускається зменшення товщини покриття на 50%. Потім потрібно повторно підготувати поверхню оброблених ділянок і нанести покриття заново.

Товщину нанесеного покриття визначають вимірюванням лінійних розмірів (діаметра) до і після напилення за допомогою мікрометра або штангенциркуля.

Шліфування отриманого покриття здійснюється за стандартною технологією на круглошліфувальних верстатах 3А423 або інших аналогічних верстатах.

Контроль зовнішнього вигляду покриттів проводиться для виявлення дефектів — сколів, здуття, відшарувань, тріщин і раковин. Огляд проводиться за допомогою лупи 10-кратного збільшення ЛІ-3 або ЛІ-4 по ГОСТ 25706-83, при коефіцієнті природної освітленості на поверхні виробу не менше 1,5. Освітленість на робочому місці при використанні ламп розжарювання повинна бути не менше 150 лк, а при люмінесцентному освітленні по ГОСТ 1182-77 — не менше 300 лк. Якщо виявлений один із цих дефектів, виріб вважається бракованим.

4.4 Визначення фізико-механічних властивостей напилених покриттів

Контроль мікроструктури покриттів проводиться при збільшенні 150 разів. Пористість напилених покриттів визначають за допомогою комп'ютерного мікроструктурного аналізу, використовуючи програми для металографічного аналізу, такі як *MEGRAN*, *Jmicrovision*, *Siams*, або за планіметричним методом.

Пористість вказаних електродугових покриттів становить 5...8%.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Міцність зчеплення покриттів визначають методом «витягування штифта».
Міцність зчеплення покриттів– 28 ... 30 МПа.

Твердість покриттів за Віккерсом визначати за допомогою приладу типу ТП при навантаженні на індентор 5 кг.

4.5 Висновки до розділу 4

Розроблені технологічні рекомендації та технологічна схема процесу щодо напилення електродугових композиційних металокарбідних покриттів композиції 65Г-TiC.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА НА ДІЛЬНИЦІ НАНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ (РІЧНА ПРОГРАМА 1500 ШТ.)

5.1 Основні вимоги до дільниці

Підведення живлення до установки електродугового напилення покриттів повинно відповідати "Правилам технічної експлуатації електроустановок споживачами" та "Правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем". Транспортування, збереження та експлуатація балонів з робочими газами повинні здійснюватися відповідно до "Правил улаштування і безпечної експлуатації ємностей, які перебувають під тиском". Це забезпечує безпечну експлуатацію обладнання та знижує ризики, пов'язані з використанням електричних і газових систем.

5.1.1 Технічні вимоги до дільниці

Дільниця для електродугового напилення повинна розміщуватися в ізольованих приміщеннях, зазвичай на першому поверсі. Проведення повітряних силових і енергетичних магістралей над виробничим приміщенням забороняється. Будівля має бути одноповерховою, без горища і підвальних приміщень, і повинна мати легку покрівлю вагою не більше 120 кг/м³.

Виробнича дільниця електродугового напилення покриттів повинна включати виробничі та технологічні приміщення, які відповідають вимогам безпеки та забезпечують ефективне виконання технологічних процесів:

- **Виробниче приміщення** (звукоізольований бокс, де розміщується джерело живлення, електрометалізатор та інше необхідне обладнання);
- **Технологічні приміщення** (для збереження і підготовки порошків; для підготовки робочої поверхні під напилювання виробів; розміщення обладнання для експрес-аналізу покриттів). [1,3]

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Для електродугового напилення допускається об'єднання виробничих та технологічних приміщень. Розміщення дільниць у підвальних приміщеннях забороняється.

Місця розміщення виробничих дільниць повинні вибиратися відповідно до санітарних вимог і стандарту ГОСТ 12.1.010-76. Приміщення повинно мати таку форму, щоб не утворювались застійні зони, де могли б накопичуватися пил, аерозолі і газ.

Стіни та стеля повинні бути оздоблені звукопоглинаючим матеріалом, а матеріал покриття підлоги не повинен утруднювати вологе прибирання. Штучне освітлення бажано використовувати люмінесцентне. Висота стелі повинна бути не менше 3,4 м для забезпечення належної вентиляції та комфортних умов праці.

5.1.2 Вимоги до освітлення

На підприємствах, що здійснюють нанесення захисних покриттів, слід передбачати природне, штучне та комбіноване освітлення, а також аварійне освітлення відповідно до СНіП "Норми проектування. Природне і штучне освітлення".

Штучне освітлення бажано виконувати з використанням люмінесцентних ламп, забезпечуючи рівень освітленості не менше 200 лк. Використані неробочі газорозрядні лампи мають зберігатися в умовах, визначених "Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачами".

Контроль освітлення робочих місць здійснюється відповідно до вимог розділу СНіП-4-79 і ДСТУ "ССБТ. Будівлі і споруди. Метод вимірювання освітленості". Це забезпечує відповідність рівня освітлення нормам, підвищуючи комфорт і безпеку праці.

5.1.3 Вимоги до робочих місць

Норма вільної площі на одного робітника повинна становити не менше 10 м². Приміщення для виконання робіт з напилювання має бути оснащено вуглекислотними вогнегасниками для забезпечення пожежної безпеки. Під час

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

виконання робіт з напилювання на робочому місці обов'язково повинно бути присутніми двоє працюючих для забезпечення безпеки та оперативної взаємодії у разі непередбачених ситуацій. [3].

Конструкція установок для проведення процесу напилення повинна передбачати забезпечення зручної пози при виконанні виробничих операцій, що запобігає статичному перенапруженню рук та ніг, згідно з вимогами «Типової методики за визначенням тяжкої ручної та монотонної роботи в галузях народного господарства» і «Гігієнічної класифікації роботи».

5.1.4 Вимоги до вентиляції приміщення

Напилення повинно здійснюватися у витяжних шафах з примусовою вентиляцією продуктивністю 3000–4000 м³/год. У випадку використання токсичних або радіоактивних матеріалів напилення необхідно проводити виключно в герметичних шафах для забезпечення безпеки.

При проектуванні та організації ділянки для електродугового напилювання необхідно визначити:

- номенклатуру і об'єм напилюваних деталей;
- структуру і організацію виробництва;
- економічну доцільність напилювання, склад працівників, площу і планування ділянки, потребу в електроенергії, стиснутому повітрі і т. ін.

У результаті розрахунків та на основі нормативно-технічної документації визначаються основні технічні вимоги до проектування ділянки для електродугового напилювання покриттів.

Просторова організація кожного робочого місця повинна забезпечувати оптимальне розташування технологічного обладнання, оснастки, інструментів, матеріалів, а також технологічної документації, необхідної для виконання основного процесу. Це сприятиме підвищенню ефективності роботи та забезпеченню безпеки на виробництві.

Мінімальні значення відстаней між робочими майданчиками, робочими місцями, установками та елементами будівель зазначені в таблиці 5.1. Ці відстані

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

враховують вимоги безпеки, ергономіки та технологічної зручності при організації виробничого процесу.

Таблиця 5.1 – Мінімальні значення відстаней між робочими майданчиками, робочими місцями, обладнанням і елементами будівель.

Найменування	Відстань, м
Прохід між штабелями матеріалів, деталей і т.ін. висотою не більше 1 м	1,0
Проходи між обладнанням	1,5
Відстань між стіною (колоною) та обладнанням	1,0
Проходи навколо робочого місця	1,0
Відстань від стіни (колони) до бокової або тильної сторони верстата	0,8
Ширина проходу між боковими сторонами верстатів:	
при односторонньому русі	1,1
при двосторонньому русі	1,6

5.1.5 Вимоги до захисту від шуму та вібрації

При будівництві ділянок для нанесення електродугових покриттів із підвищеними рівнями шуму необхідно передбачити заходи захисту від шуму і вібрації відповідно до вимог ДГСТ "ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки", "Санітарних норм проектування промислових підприємств" і СНіП щодо захисту від шуму.

Усунення впливу вібрації на робітників забезпечується віброізоляцією стаціонарного обладнання, використанням амортизаторів та інших засобів, які відповідають вимогам розділу СНіП і ДГСТ "ССБТ. Методи і засоби вібраційного захисту". Це дозволяє мінімізувати шкідливий вплив шуму та вібрації на робочі місця, підвищуючи комфорт і безпеку праці.

Оцінку рівня шуму на робочих місцях слід виконувати відповідно до "Санітарних норм допустимих рівнів шуму на робочих місцях" і ДГСТ "ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки" та "Методичних вказівок по проведенню вимірів і гігієнічної оцінки шумів на робочих місцях".

Механізми та обладнання, що генерують шум і вібрацію, повинні підлягати систематичному контролю не рідше одного разу на рік, а також перевірці під час

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

введення в експлуатацію та після ремонту. Вони мають бути забезпечені паспортами контрольних вимірів, які відображають параметри шуму та вібрації в робочому режимі.

Контроль вібрації на робочих місцях слід проводити відповідно до ДГСТ "ССБТ. Вібрація. Засоби виміру і контролю на робочих місцях. Технічні вимоги", "Методичних вказівок по проведенню вимірів і гігієнічної оцінки виробничих вібрацій", "Методичних вказівок по профілактиці несприятливої дії локальної вібрації".

5.1.6 Вимоги до засобів індивідуального захисту

Робітники підприємств порошкової металургії та дільниць з нанесення захисних покриттів повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, такими як протипилові респіратори, захисні окуляри, протишуми, спецвзуття та спецодяг. Зокрема, всі робітники мають бути оснащені протипиловими респіраторами типу ШБ-1 "Лепесток" або аналогічними, які відповідають вимогам захисту від пилу та аерозолів.

Спецодяг робітників повинен регулярно знепилюватися. Усі засоби індивідуального захисту, включаючи спецодяг, повинні підлягати знешкодженню, хімічному очищенню та пранню не рідше трьох разів на місяць відповідно до ДГСТ "ССБТ. Загальні вимоги до процесу хімічної чистки засобів індивідуального захисту". Це забезпечує підтримання належного рівня гігієни та ефективності захисних властивостей засобів індивідуального захисту.

5.2 Вибір потрібної кількості обладнання та робочих місць

5.2.1 Визначення і розрахунок партії запуску деталей

Під розміром партії деталей розуміють кількість однакових деталей одночасно оброблених на кожній операції на одному або декількох робочих місцях з одноразовою витратою матеріалу.

$$N_{\text{опт}} = B_{\text{см}} ,$$

де $B_{\text{см}}$ – денна продуктивність ділянки.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

$$B_{\text{см}} = A/D,$$

де А – річна програма виробництва, шт; D – кількість робочих днів у році;

$$B_{\text{см}} = 1500/251 = 5,98 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 6 \text{ шт.}$$

$$N_{\text{опт}} = B_{\text{см}} = 6 \text{ шт.}$$

5.2.2 Розрахунок штучно-калькуляційного часу виготовлення покриття

Штучно-калькуляційний час необхідно розрахувати для визначення необхідної кількості устаткування, кількості основних працівників на ділянці.

$$T_{\text{шт.к}} = t/N,$$

де t – необхідна норма часу на операцію, хв; N – кількість деталей, шт.;

– для сушильної шафи:

$$t = 180 \text{ хв}, \quad N = 6 \text{ шт.}, \quad T_{\text{шт.к}} = 180/6 = 30 \text{ хв.}$$

– для знежирювання поверхні деталі:

$$t = 10 \text{ хв}, \quad N = 1 \text{ шт.}, \quad T_{\text{шт.к}} = 10/1 = 10 \text{ хв.}$$

– для струминево-абразивної обробки:

$$t = 10 \text{ хв}, \quad N = 1 \text{ шт.}, \quad T_{\text{шт.к}} = 10/1 = 10 \text{ хв.}$$

– для нанесення покриття:

$$t = 10 \text{ хв}, \quad N = 1 \text{ шт.}, \quad T_{\text{шт.к}} = 10/1 = 10 \text{ хв.}$$

- для механічної обробки:

$$t = 15 \text{ хв}, \quad N = 1 \text{ шт.}, \quad T_{\text{шт.к}} = 15/1 = 15 \text{ хв.}$$

5.2.3 Визначення фонду часу роботи устаткування

Календарний фонд часу:

$$\Phi_k = D_k \cdot 24,$$

де D_k – кількість календарних днів у році.

$$\Phi_k = 364 \cdot 24 = 8736 \text{ год.}$$

Номінальний фонд часу роботи устаткування – це кількість робочих днів в році відповідно до певного режиму роботи устаткування без врахування планованих втрат часу на ремонт устаткування:

$$\Phi_n = D_p \cdot T_{\text{зм}} \cdot S - (1 \cdot D_{\text{п}}),$$

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

де D_p – кількість робочих днів у році;

$T_{зм}$ – тривалість;

S – кількість змін;

$D_{п}$ – кількість передсвяткових днів скорочених на одну годину;

$$\Phi_n = 251 \cdot 8 \cdot 1 - (1 \cdot 6) = 2002 \text{ год.}$$

Ефективний фонд часу роботи устаткування.

При розрахунку ефективного фонду часу планують втрати часу на плановий ремонт устаткування:

$$\Phi_o = \Phi_n \cdot (1 - \mu),$$

де Φ_n – номінальний фонд часу устаткування; μ – коефіцієнт, який враховує простій устаткування в планово-передбаченому ремонті устаткування;

$$\Phi_o = 2002 \cdot (1 - 0,24) = 1522 \text{ год.}$$

5.2.4 Розрахунок необхідної кількості устаткування та його завантаженість

Необхідна кількість устаткування на ділянці розраховується по формулі:

$$C_p = TH_i / (\Phi_o \cdot K_{вн}),$$

де Φ_o – ефективний річний фонд часу одиниці устаткування; $K_{вн}$ – коефіцієнт виконання норм часу; TH_i – річна трудомісткість виготовлення виробів на i -тому устаткуванні;

$$TH_i = t_{шт.к} \cdot A,$$

де $t_{шт.к}$ – штучно–калькуляційний час обробки однієї деталі на i -тому устаткуванні; A – річний обсяг випуску деталей.

– для сушильної шафи:

$$C_{p1} = (0,5 \cdot 1500) / (1522 \cdot 1,05) = 0,404 \text{ приймаємо одну установку;}$$

– для знежирення поверхні деталі:

$$C_{p2} = (0,17 \cdot 1500) / (1522 \cdot 1,05) = 0,16 \text{ приймаємо одну установку;}$$

– для струминно-абразивної обробки:

$$C_{p3} = (0,17 \cdot 1500) / (1522 \cdot 1,05) = 0,16 \text{ приймаємо одну установку;}$$

– для нанесення покриття:

$$C_{p4} = (0,17 \cdot 1500) / (1522 \cdot 1,05) = 0,16 \text{ приймаємо одну установку.}$$

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

– для механічної обробки:

$$C_{p5} = (0,1500)/(1522 \cdot 1,05) = 0,234 \text{ приймаємо одну установку.}$$

Коефіцієнт завантаження устаткування по ділянці визначають по формулі:

$$K_3 = C_p / C_{пр} ,$$

де C_p – розрахункова кількість устаткування на ділянці; $C_{пр}$ – прийнята кількість устаткування на ділянці;

– для сушильної шафи:

$$K_{31} = 0,404$$

– для знежирення поверхні деталі:

$$K_{32} = 0,16$$

– для струминно-абразивної обробки:

$$K_{33} = 0,16$$

– для нанесення покриття:

$$K_{34} = 0,16$$

- для механічної обробки:

$$K_{35} = 0,234$$

5.3 Компоновка і опис дільниці

Скомпонуємо дільницю для електродугового напилення композиційного металокерамічного покриття з використанням порошку, враховуючи вище наведені розрахунки.

Для нанесення таких покриттів необхідне наступне обладнання:

1 – стелаж для металізованих виробів (1 шт.);

2 – касета для дроту (1 шт.);

3 – шафи для зберігання матеріалів та спецодягу (1 шт.);

4 – тумбочка для інструменту (1 шт.);

5 – джерело живлення (1 шт.);

6 – електрометалізатор (1 шт.);

7 – обертач (1 шт.);

8 – вентиляційний зонт (1 шт.);

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

- 9 – уловлювач пилу (циклон) (1 шт.);
- 10 – вентилятор (1 шт.);
- 11 – манометр (1 шт.);
- 12 – камера для струминно-корундової обробки (1 шт.);
- 13 – компресор (1 шт.);
- 14 – масловологовіддільник (1 шт.);
- 15 – монтажний стіл (1 шт.);
- 16 – стелаж для деталей (1 шт.);
- 17 – припливна вентиляційна система (1 шт.).

Для проведення робіт на дільниці електродугового напилення покриттів необхідна присутність двох операторів та помічника. Отже, кількість робочих місць повинно бути три.

Проведемо компоновку дільниці.

Схематично зобразимо дільницю для напилення з розміщенням на ній вище вказаного необхідного обладнання (рис. 5.1).

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

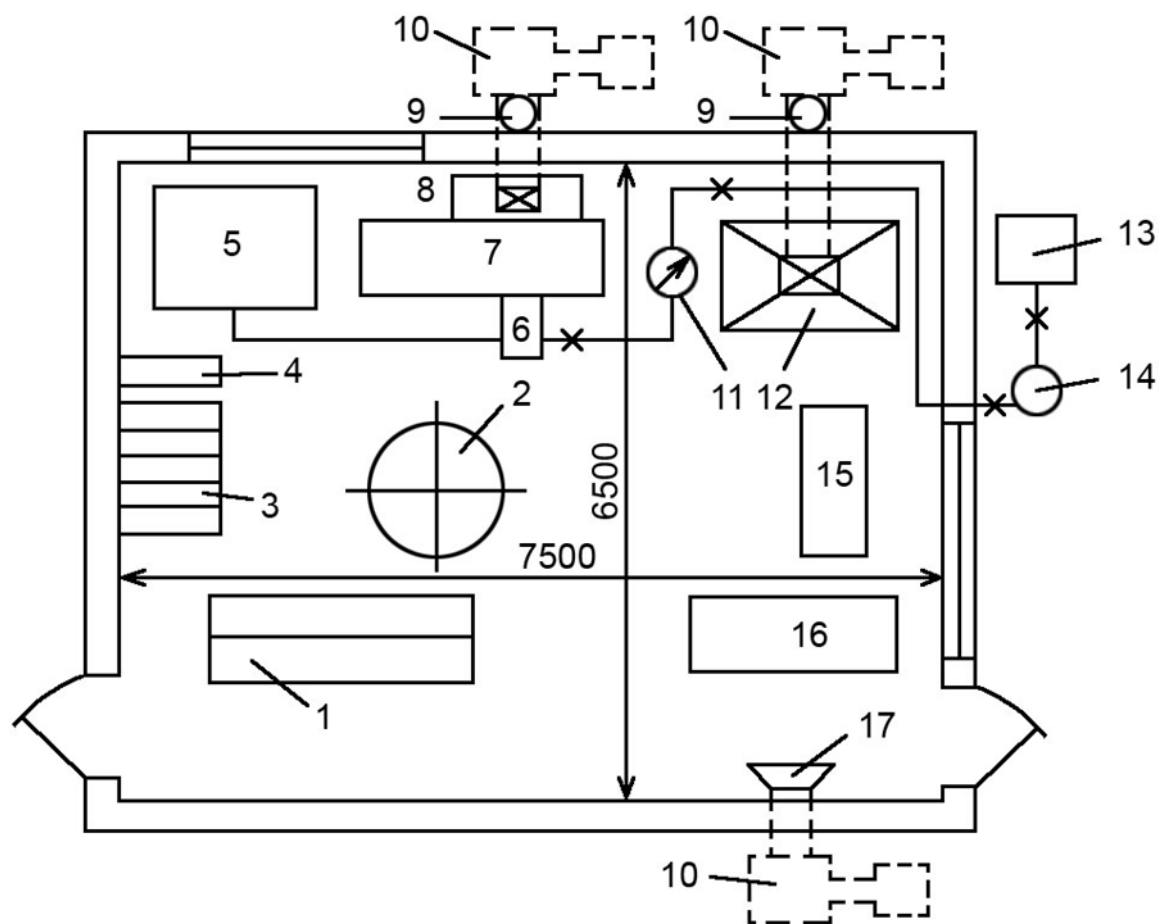


Рисунок 5.1 – Ділянка для електродугового напилення композиційних покриттів:

1 – стелаж для металізованих виробів; 2 – касета для дроту; 3 – шафи для зберігання матеріалів та спецодягу; 4 – тумбочка для інструменту; 5 – джерело живлення; 6 – електрометалізатор; 7 – обертач; 8 – вентиляційний зонт; 9 – уловлювач пилу (циклон); 10 – вентилятор; 11 – манометр; 12 – камера для струминно-корундової обробки; 13 – компресор; 14 – маслотовологовіддільник; 15 – монтажний стіл; 16 – стелаж для деталей; 17 – припливна вентиляційна система

5.4 Висновки до розділу 5

Таким чином, у даному розділі було спроектовано діляницю для електродугового напилення композиційного металокерамічного покриття з використанням порошку та річної програми по виготовленню виробів у кількості 1500 шт.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу науково-технічної літератури щодо сучасного стану та напрямків розвитку процесу електродугового напилення було встановлено, що перспективним напрямом є нанесення металокарбідних покриттів.

2. Досліджено вихідний порошок карбіду титану марки Амперит 570, а саме гранулометричний склад та середній розмір частинок порошку, що склав 38 мкм.

3. За допомогою вдосконаленого електродугового апарату ЕМ-14М були отримані композиційні металокарбідні покриття на основі композиції 65Г – TiC. Встановлено, що пористість покриттів становить близько 6%. Мікротвердість металевої матриці складає 3,2 ГПа, а карбідної фази — 31 ГПа, що відповідає мікротвердості карбіду титану. Аналіз хімічного складу фаз показав, що темна фаза має підвищену концентрацію титану (близько 50%), що підтверджує її ідентифікацію як фази TiC.

4. Встановлено, що технологічні параметри напилення впливають на вміст карбідної фази у покриттях. Збільшення сили струму підвищує продуктивність процесу, що сприяє збільшенню концентрації розплавлених частинок металу в струмені, їх ентальпії і, відповідно, вмісту наповнювача в покритті. Зі збільшенням тиску стисненого повітря зростає інжекція порошку у високотемпературний струмінь і швидкість частинок у ньому, що також призводить до підвищення вмісту карбідної фази у композиційних покриттях.

5. Проведено експериментальні дослідження впливу вмісту карбідної фази на міцність зчеплення металокарбідних покриттів. Встановлено, що залежність міцності зчеплення від вмісту карбідної фази має екстремальний характер. Максимальне значення міцності зчеплення (30 МПа) було досягнуто при вмісті карбідної фази 18,4%.

6. Розроблені технологічні рекомендації, технологічна схема процесу щодо електродугового напилення металокарбідних покриттів композиції 65Г-TiC.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Розроблена дільниця щодо нанесення металокарбідних композиційних електродугових покриттів.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 1. Адлер, Ю. П. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов [Текст] / Ю. П. Адлер, Є. В. Маркова, Ю. В. Грановський // - М.: "Наука", 1976. - 279 с .
2. Анциферов, В. Н. Порошкова металургія та напилені покриття [Текст] / В. Н. Анциферов, Г. В. Бобров, Л. К. Дружинін та ін. // - М.: Металургія, 1987. – 792 с.
3. Анцифіров, В. Н. Газотермічні покриття [Текст] / В. Н. Анциферов А. М. Шмаков, С. С. Агєєв та ін // - Єкатеринбург: УІФ «Наука», 1994. - 320 с.
4. Білоцерківський, М. А. Технологія активованого газополум'яного напилення антифрикційних покриттів [Текст] / М. А. Білоцерківський // - Мінськ: Технопринт, 2004. - 200 с.
5. Борисов, Ю. С. Газотермічні покриття з порошкових матеріалів [Текст] / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко та ін. // – К.: «Наукова думка», 1987. – 544 с.
6. Вахалін, В. А. Процес плавлення та розпилення матеріалу при електродугової металізації [Текст] / В. А. Вахалін, С. Б. Масленков, В. В. Кудінов та ін. // Фізика та хімія обробки матеріалів. - 1981. - № 3. - С. 58 - 63.
7. Воропай, Н. М. Розподіл температури в повітряному струмені та напилюванні основі при електродуговій металізації [Текст] / Н. М. Воропай А. І. Мажейка, С. І. Маркович // Автоматичне зварювання. - 2004. - № 5. - С. 18 - 21.
8. Дем'янов, І. А. Застосування електродугової металізації для антикорозійного захисту телевізійної вежі в Києві [Текст] / І. А. Дем'янов, О. П. Мурашов, Ю. С. Борисов, А. П. Грищенко та ін. // Зварювальник. - 2005. - № 3. - С. 19 - 21.
9. Державні санітарні правила для підприємств порошкової металургії // – К.: Міністерство охорони здоров'я України, 1996 р. – 76 с.
10. Дубовий, О. М. Технологія напилення покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, А. М. Степанчук // – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

- 11.Каліта, В. І. Фізика, хімія та механіка формування покриттів, зміцнених нанорозмірними фазами [Текст] / В. І. Каліта // Фізика та хімія обробки матеріалів. - 2005. - № 4. С. 46 - 57.
- 12.Каліта, В. І. Формування нанорозмірних зміцнювальних фаз у плазмових покриттях із сталей, чавунів та сплавів на основі заліза [Текст] / В. І. Каліта, В. В. Яркін, А. В. Касимцев, Г. У. Лубман // Фізика та хімія обробки матеріалів. - 2006. - № 5. С. 29 - 40.
- 13.Коробов, Ю. С. Розрахунок параметрів руху та окислення частинок при електродуговій металізації [Текст] / Ю. С. Коробов, В. Н. Бороненков // Зварювальне виробництво. – 1998. – № 3. – С. 9 – 13.
- 14.Коробов, Ю. С. Раціональний підхід до відновлення деталей обладнання газотермічним напиленням [Текст] / Ю. С. Коробов, В. І. Шум'яков, А. С. Прядко // Зварювальник. - 2011. - № 6 (82). - С. 20 - 24.
- 15.Кузнецов, В. Д. Фізико-хімічні основи створення покриттів [Текст] / В. Д. Кузнецов, В. М. Пащенко // – К.: НМЦ ВО, 1999. – 176 с.
- 16.Лялякін, В. П. Дослідження процесу газодинамічного диспергування металу під час електродугової металізації [Текст] / В. П. Лялякін, А. С. Саблуков, Н. Н. Литовченко // Зварювальне виробництво. - 2000. - № 1. - С. 16 - 24.
- 17.Мотяхов, М. А. Електродугове зварювання металів [Текст] / М. А. Мотяхов // - М.: «Вища школа», 1975. - 232 с.
- 18.Пат. 43984 Україна МПК (2009) С23С 4/00. Спосіб нанесення електродугових покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, А. А. Карпеченко, О. О. Жданов; заявник и патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № и 2009 03877, заявл. 21.04.2009; опубл. 10.09.2009, бюл. № 17.
- 19.Самсонов, Г. В. Фізико-хімічні властивості оксидів [Текст] / Г. В. Самсонов, А. Л. Борисова, Т. Г. Жидкова, Т. М. Знатокова, Ю. П. Колошина, А. Ф. Кисельова , П. С. Кислий, М. С. Ковальченко, Т. Я. Косолапова, В. Я.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

Малахов, О. Д. Панасюк, В. І. Славута, Н. І. Ткаченко // Довідник. Вид-во "Металургія", 1978. - 472 с.

20. Сонін, В. І. Газотермічне напилення матеріалів у машинобудуванні [Текст] / В. І. Сонін // - М.: "Машинобудування", 1973. - 152 с.
21. Соснін, Н. А. Плазмові покриття (технологія та обладнання) [Текст] / Н. А. Соснін, П. А. Тополянський, Б. Л. Вічик // - СПб.: Об-во «Знання» Росії, СпБО ДНТП, 1992. - 28 с.
22. Спіридонів, А. А. Планування експерименту при дослідженні технологічних процесів [Текст] / А. А. Спіридонів // - М.: Машинобудування, 1981. - 178 с.
23. Борисов Ю.С., Борисова А.Л. Плазмові порошкове покриття. - Київ: Техніка, 1986. - 223 с.
24. Газотермічні покриття із порошкових матеріалів (довідник) / Ю.С.Борисов, Ю.А.Харламов, С.Л.Сидоренко, О.Н.Ардатовська. - Київ: Наук. думка, 1987. - 544 с.
25. Toma D., Brandtt W. Marginean G. Wear and corrosion of thermo alloy sprayed cermet coatings // Surface and Coatings Technology. – 2001. – 138. – P. 149–158.
26. Cr_3C_2 –NiCr and WC–Ni spray coatings as alternatives to hard chromium for erosion-corrosion resistance / N. Espallargas, J. Berget, J.M. Guilemany et al. // Ibid. – 2008. – 202. – P. 1405–1417.
27. Corrosion and wear behavior of HVOF cermet coatings used to replace hard chromium / L.Fedrizzi, S.Rossi, R.Cristel, P.L.Bonora // Electrochimica Acta. – 2004. – 49. – P. 2803– 2814.
28. Comparative study of Cr_3C_2 –NiCr coatings obtained by HVOF and hard chromium coatings / J.M.Guilemany, N.Espallargas, P.H.Suegama, A.V.Benedett // Corrosion Sci. – 2006. – 48. – P. 2998–3013.
29. Sahoo P., Raghuraman R. High temperature chromium carbides reinforced metal matrix composite coatings for turbomachinery application // Proc. of Thermal Spray Conf. of TS'93. – Aachen, Germany, 1993. – DVS-Berichte. – P. 296–300.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

30. Takeuchi J., Nakahira A. Cr₃C₂-NiCr cermet coatings using some HVOF, APS and UPS process // Ibid. – P. 11–14.
31. Beczkowiak J., Fisher J., Schwier Y. Cermet materials for HVOF processes // Ibid. – P. 32–36.
32. Powder Solutions Catalog // Praxair Surface Technologies. USA – 2000. – 17 p.
33. Thermal Spray Materials Guide // Sulzer Metco USA. – 2011. – Issue: Sept. – 52 p.
34. Keller H., Pross E., Schwier G. Influence of the powder type on the structure and the properties of chromium carbide / Nickel Chromium, H.C.Starck, Specialist for Specialties. – 2000. – L 11. – 8 p
35. Войтович Р.Ф., Пугач Е.А. Особливості високотемпературного окиснення карбідів перехідних металів VI групи // Порош. металургія. - 1973. - № 4. - С. 59-64.
36. Вплив плакування подвійного карбіду титану-хрому на властивості плазмових покриттів / І.М. Горбатов, Н.С. Ільченко, А.Є. Терентьев та ін. // Фіз.-хім. обробка матеріалів. - 1991. - № 3. - С. 81-85.
37. Дослідження властивостей газотермічних покриттів із композиційних порошків нікель-карбід титану та хрому / І.М. Горбатов, В.М. Шкіро, А.Є. Терентьев та ін. // Саме там. - 1991. - № 4. - С. 102-106.
38. Газотермічні покриття з композиційних порошків на основі карбіду титану-хрому / І.М. Горбатов, А.Д. Панасюк, Л.К. Шведова та ін. // Захисні покриття на металах. - 1991. - Вип. 25. - С. 22-25.
39. Борисова А.Л., Чернець О.І. Фазові та структурні перетворення в порошках чистого та плакованого подвійного карбіду титану-хрому в плазмовому струмені // Пробл. СЕМ. - 1993. - № 3. - С. 63-72.
40. Райцес В.Б., Литвин В.М., Рутберг В.П. та ін. Зносостійкі плазмові покриття на основі подвійного карбіду титану-хрому // Порошк. металургія. - 1986. - № 10. - С. 46-47.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

41. Борисов Ю.С. Надзвукове повітряно-газове плазмове напилення керметних покриттів системи карбід титану-хрому-ніхром / Борисов. Ю.С., Борисова А.Л., Коломицев А.В. // Автоматичне зварювання. - 2015. №2. - С. 21 - 27.
42. Коржик В.М. Керметні покриття системи «карбід хрому-ніхром», отримані методом надзвукового повітряно-газового плазмowego напилення // Коржік В.М., Борисова А.Л., Попов В.В. та ін // Автоматична зварювання. - 2014. №12. - С. 23 - 28.
43. K. Ghosh Aluminum-Silicon Carbide Coatings by Plasma Spraying // K. Ghosh, T. Troczynski, and A.C.D. Chaklader / Journal of thermal spray technology. – 1998. – Vol.7. – P.78 - 86.
44. Vasileios K. Effects and Interplays of Spray Angle and Stand-off Distance on the Sliding Wear Behavior of HVOF WC-17Co Coatings // Vasileios Katranidis, Spyros Kamnis, Bryan Allcock, Sai Gu // Journal of thermal spray technology. – 2019. – Vol.28. – P.514 - 534.
45. Пілющенко, В.Л. Довідник з практичного металознавства [Текст]/В.Л. Пілющенко, Б.Б. Винокур, С.Є. Кондратюк та ін// - К.: Техніка, 1984. - 135с.
46. Салтиков, С. А. Стереометрична металографія [Текст] / С. А. Салтиков // - М.: "Металургія", 1976. - 269 с.
47. Ляшенко, Б. А. Методика визначення механічних характеристик композиції метал-захисне покриття [Текст] / Б. А. Ляшенко, С. Ю. Шарівкер, О. В. Цигулев та ін. // Проблеми міцності – 1989. – №8. - С. 113 - 115.
48. Глебова, М. А. Контроль міцності зчеплення газотермічних покриттів [Текст] / М. А. Глебова, А. Б. Корнєв, В. В. Глебов. // Зміцнюючі технології та покриття 2005. - № 2. - С. 45 - 50.
49. Дубовий, О. М. Дослідження можливості напилення композиційного покриття електродуговим методом [Текст] / О. М. Дубовий, О. О. Карпеченко // Збірник наукових праць НУК. - Миколаїв: НУК, 2007. - № 5 (416). - С. 66 - 70.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		

50.Карпеченко, А. А. Формування металокерамічних та металостекляних покриттів електродуговим напиленням [Текст] / А. А. Карпеченко // Автоматичне зварювання. - 2011. - № 4 - С. 31 - 34.

					132. 6131М КР 01.00 ПЗ	Лист
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата		