

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Зварювальний факультет
Кафедра "Інженерії поверхні"**

«На правах рукопису»
УДК.621.791.92

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ І.В. Смірнов

«__» _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності «132 Матеріалознавство»

**на тему: «Підвищення функціональних властивостей газотермічних покриттів
електроконтактною обробкою»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЗП-71мн
Лопата Олександр Віталійович

Керівник:

Завідувач кафедри, доктор технічних наук, професор

Смірнов І. В.

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

Завідувач кафедри, доктор технічних наук, професор

Левченко Олег Григорович

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Зварювальний факультет
Кафедра «Інженерії поверхні»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою
Спеціальність (спеціалізація) – 131 «Прикладна механіка» («Споріднені технології зварювання та ресурсозбереження»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
І.В. Смірнов
«__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Лопаті Олександрові Віталійовичу

1. **Тема дисертації** «Підвищення функціональних властивостей газотермічних покриттів електроконтактною обробкою», науковий керівник дисертації Смірнов Ігорь Володимирович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. **Термін подання студентом дисертації** _____
3. **Об'єкт дослідження** Процеси нанесення зносостійких покриттів електродуговим напиленням (ЕДН) і їх електроконтактна обробка (ЕКО).
4. **Предмет дослідження** Властивості електродугових покриттів після електроконтактною обробки.
5. **Перелік завдань, які потрібно розробити:** аналіз методів ГТН і основних напрямків підвищення їх властивостей; дослідження впливу електроконтактною обробки на властивості ГТН-покриттів, практичне використання ЕКО ГТН-покриттів при відновленні і зміцненні деталей компресорної техніки на прикладі валу ротора; охорона праці при ЕКО ЕДН-покриттів.
6. **Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** характеристика методів ГТН та способу ЕКО; методи та методики досліджень; дослідження факторів ГТН та ЕКО на властивості покриттів, відновлення валу ротора.
7. **Орієнтовний перелік публікацій** – чотири

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Обґрунтування мети досліджень. Постановка задач досліджень.		10.03.2019	13.05.2019
2. Методика досліджень		10.03.2019	13.05.2019
3. Теоретичні та експериментальні дослідження		10.03.2019	13.05.2019
4. Практичне застосування		10.03.2019	13.05.2019
5 Охорона праці	Левченко О. Г.	10.03.2013	13.05.2019

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Обґрунтування актуальності роботи, постановка мети та задач досліджень	17.03.2019 р.	
2	Вибір методів та методик досліджень	25.03 2019 р.	
3.	Дослідження впливу конструктивних та технологічних параметрів ЕДН на властивості покриттів	10.04.2019 р.	
4.	Характеристика ЕКО	15.04 2019 р.	
5.	Вплив ЕКО на властивості ГТН-покриттів	20.04.2019 р.	
6.	Охорона праці	30.04 2019 р.	
7.	Оформлення МР	10.05 2019 р.	
8.	Оформлення графічного матеріалу	10.05.2019 р.	

Студент

О.В. Лопата

Науковий керівник дисертації

І.В. Смірнов

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів.....	7
Вступ.....	8
1. Сучасний стан проблеми, обґрунтування мети та постановка задач досліджень.....	13
1.1. Керування властивостями поверхонь - технологічний напрямок зміцнення та відновлення деталей з подовженим терміном експлуатації	13
1.2. Газотермічні способи нанесення покриттів (ГТН) - один із методів керування властивостями поверхонь. Їх особливості, переваги та недоліки.....	13
1.3. Вибір електродугового напилення (ЕДН) як перспективного способу ГТН для зміцнення та відновлення деталей та конструкцій.....	19
1.4. Основні напрямки підвищення якості напилених покриттів.....	23
1.5. Обґрунтування вибору методу електроконтактної обробки (ЕКО) для підвищення властивостей газотермічних покриттів (ГТН-покриттів).....	25
Висновки за розділом. Постановка мети та задач досліджень.....	27
2. Методика, методи, устаткування та матеріали для досліджень.....	29
2.1. Загальна методика досліджень.....	29
2.2. Характеристика обладнання для нанесення покриттів.....	29
2.2.1. Апарати для ЕДН. Їх конструктивні особливості.....	29
2.2.2. Обладнання для електроконтактної обробки.....	31
2.3. Матеріали для дослідження.....	32
2.4. Визначення коефіцієнту використання металу при ЕДН.....	33
2.5. Методики та методи досліджень фізико - механічних властивостей поверхонь з покриттям.....	34
2.5.1. Дослідження мікроструктури та мікротвердості.....	34
2.5.2. Методика дослідження пористості покриттів.....	34
2.5.3. Методика визначення адгезійної і когезійної міцності системи "покриття - основа"	35

2.6. Дослідження зносостійкості поверхонь з покриттям.....	37
	5
2.7. Методика обробки результатів.....	38
2.8. Висновки за розділом	39
3. Дослідження процесу електродугового напилення покриттів.....	40
3.1. Дослідження процесу ЕДН. Характеристика схем формування металоповітряного потоку.....	40
3.2. Особливості закритої схеми формування металоповітряного потоку...	44
3.3. Вплив конструкції ЕДН-апаратів на розпилювання матеріалу, умови плавлення, диспергування, формоутворення капель та закріплення напилених частинок на поверхні при формуванні покритть.....	46
3.4. Вибір матеріалу для покриття.....	49
3.5. Використання продуктів горіння пропано-повітряної суміші для підвищення властивостей ЕДН-покриттів.....	50
Висновки за розділом 3.....	54
4. Дослідження структури та властивостей напилених покриттів після електроконтактної обробки.....	55
4.1. Властивості ЕДН-покриттів після ЕКО. Коhezійна і адгезійна міцність, пористість, мікротвердість.....	55
4.2. Дослідження впливу технологічних параметрів ЕКО на властивості покритть, отриманих ЕДН, та визначення зв'язку між ними.....	57
4.3. Дифузійні процеси при електроконтактній обробці напилених покриттів. Роль аномальної дифузії та електропластичного ефекту при-ЕКО.....	59
Висновки за розділом 4.....	62
5. Практичне використання ЕКО для підвищення функціональних властивостей ГТН-покриттів при відновленні і зміцненні деталей компресорної техніки.....	64
5.1. Характеристика вузла та деталі.....	64
5.2. Характеристика видів зношування поверхонь валу ротора нагнітача	66
5.3 Технологічний процес дефектації деталі.....	67

5.4. Технологічний процес відновлення валу ротора нагнітача.....	.68
5.4.1 Структурна послідовність технологічного процесу. Матеріали та обладнання.....	...70
5.4.2. Підготовчі роботи.....	71
5.4.3. Технологічна частина.....	.72
5. 4.4. Технічний контроль.....	75
Висновки за розділом 5.....	75
6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	.77
6.1 Аналіз умов праці.....	.77
6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	78
6.2.1 Захист від шкідливих речовин.....	78
6.2.2. Захист від шкідливого випромінення.....	79
6.2.3 Захист від надмірного шуму.....	80
6.2.4. Захист від ураження струмом.....	81
6.2.5. Захист від продуктів напилення в процесі роботи.....	82
6.2.6. Способи захисту від рухомих частин пристроїв.....	82
6.3. Вентиляція.....	83
6.4. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	84
6.5. Пожежна безпека.....	85
6.6. Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту.....	..86
6.7. Захист від теплового випромінювання.....	86
Загальні висновки.....	88
Перелік джерел посилання.....	92

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів

АДН – активування електродугового напилення

ГТН – газотермічне напилення

ГТН-покриття – газотермічні покриття

ГНП – газополуменеве напилення

ЗЗП – захисні зміцнюючі покриття

ІА – іонне азотування

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КТР – коефіцієнт термічного розширення

КМ – композиційний матеріал

ЛО – лазерна обробка

МТУО – механо-термічна зміцнююча обробка

МТО – механо-термічна обробка

НДС – напружено-деформований стан

ППД – поверхневе пластичне деформування

ПД – порошковий дріт

СВЧ – струми високої частоти

САО – струменево-абразивна обробка

ТО – термічна обробка

УЗО – ультразвукова обробка

ХТО – хіміко-термічна обробка

ЕІЛ – електроіскрове легування

ЕКО – електроконтактна обробка

ЕДН – електродугове напилення

ЕДН-покриття – електродугове покриття

ЕДМ – електродугова металізація

Вступ

Актуальність роботи. Серед актуальних технологічних та матеріалознавчих напрямків сучасної науки і техніки проблема інженерії поверхні є однією з найбільш значущих [1, 2]. Надання поверхням деталей машин, робочим органам, інструментам та іншим конструкціям необхідних фізичних, хімічних та експлуатаційних властивостей найбільш успішно реалізується при використанні підходів і технологічних методів інженерії поверхні. Нанесенням покриття та модифікуванням поверхневих шарів можливо істотно покращити працездатність та надійність деталей і конструкцій, надавати їм нові, функціональні властивості, що не можливо досягти другими методами. Перспективними є методи інженерії поверхні, що об'єднують нанесення покриттів з модифікацією поверхні або їх обробкою [3-7].

Без використання сучасних наукоємних технологій зміцнюючи захисних покриттів (ЗЗП) економіка України не вийде з кризи гострого дефіциту металу, запасних частин, електроенергії, пального [1]. Використання покриттів дозволить збільшити строк експлуатації деталей шляхом підвищення їх зносу – і корозійної стійкості, відновлення робото здатності, а також за рахунок заміни багато вартісних матеріалів більш дешевими матеріалами з покриттями. Використання ЗЗП дозволяє значно зменшити витрати легованих сталей та сплавів. При цьому можливо створення виробів з унікальним поєднанням властивостей, що недосяжні при використанні традиційних конструкційних матеріалів. Матеріал покриття вибирають виходячи з матеріалу основи та умов експлуатації [8-17].

Існують різні способи нанесення захисних покриттів. Різноманіття видів нанесення покриттів пояснюється тим, що не один з них не може претендувати на універсальність. Накопичений опит показує, що не існує універсальних способів, ефективних для зміцнення різних деталей, так як кожний спосіб має свою область використання, свої переваги і недоліки.

Покриття функціональні [4, 5]. Вони можуть регулювати теплопровідність, надавати поверхні корозійну стійкість, зносостійкість, специфічні експлуатаційні властивості (електричні, оптичні, антифрикційні і т. ін.). Покриття – перспективний спосіб захисту від впливу високих теплових потоків та агресивного середовища.

Створення покриттів, що забезпечують працездатність машин і обладнання в екстремальних умовах експлуатації (впливу температур, зношування, агресивних середовищ) було і залишається актуальним.

Застосування покриттів пов'язують з реалізацією принципово нового підходу до створення конструкційних матеріалів: міцність і несуча здатність деталі забезпечується за рахунок матеріалу основи, а опір розміцнюючого впливу від корозії, зношування та ін. факторів [1]. Більшість способів нанесення ЗЗП можна розглядати як альтернативні. Один і той же матеріал покриття може бути завдано різними способами. Комплекс механічних властивостей і експлуатаційні характеристики деталі з покриттям залежать від способу його нанесення.

Перспективними є способи газотермічного напилення (ГТН), існуючий рівень технології яких дозволяє вирішувати проблеми високотемпературної корозії і зносу в промисловій енергетиці, авіа-, і автобудуванні, турбобудуванні, нафтохімії, металургії і в інших галузях промисловості [18-29]. На виробництві доцільно використовувати дешевші і прості в реалізації такі методи ГТН як газополуменевого (ГПН) і електродугового (ЕДН) напилення. Однак недостатня твердість, порівняно низька щільність і міцність зчеплення ГПН та ЕДН-покриттів вимагає застосування додаткових технологій їх обробки: термічної (ТО), хіміко-термічної (ХТО) і механо - термічної (МТО). Обробка покриттів повинна забезпечити їх непроникність для корозійних середовищ, підвищити міцність зчеплення покриття з основою, твердість і зносостійкість.

Перехід економіки на шлях інтенсивного розвитку передбачає використання способів обробки покриттів, які реалізуються за допомогою

автономного або спільного (в різних поєднаннях) впливу в часі температурних, механічних і хімічних чинників. Застосування методів з мінімально необхідним нагріванням і малими величинами припусків - завдання першорядної важливості. У зв'язку з цим значний інтерес представляє МТО.

Одним з найбільш ефективних методів МТО є електроконтактна обробка (ЕКО). До її переваг слід віднести: мінімальні тепловкладення і припуски на фінішну обробку.

Мета роботи полягає в підвищенні функціональних властивостей газотермічних покриттів електроконтактною обробкою.

Відповідно до мети роботи програма досліджень включала розв'язання таких задач:

- дати аналіз способів ГТН як одному з методів керування властивостями поверхонь, обґрунтувати вибір ЕДН для зміцнення та відновлення деталей та конструкцій;

- розглянути основні напрямки підвищення якості напилених покриттів;
- обґрунтувати вибір ЕКО для підвищення властивостей ГТН-покриттів;
- дослідити вплив на процес ЕДН (диспергування, формоутворення крапель і закріплення напилених частинок на поверхні при утворенні покриттів) і властивості покриттів конструкції ЕДН-апаратів, схеми формування металоповітряного потоку, дистанції напилювання і ін. чинників ЕДН;

- показати можливість управління чинниками ЕДН (параметрами газотермічного потоку, температурою струменя пропано-повітряної суміші, частинок які розпилюються, швидкістю струменя, дистанції напилювання) з метою підвищення властивостей покриттів;

- визначити мікротвердість ЕДН - покриттів із сталей 40Х13 в початковому стані і після їх ЕКО;

- дослідження впливу ЕКО на фізико-механічні властивості напилених покриттів (пористість, адгезійну міцність, зносостійкість);

- оптимізувати режими ЕКО напилених покриттів;

- розробити практичні рекомендації для підвищення функціональних властивостей ЕДН-покриттів ЕКО на прикладі відновлення і зміцнення валу ротора компресорної установки.

Об'єкт дослідження. Процеси нанесення зносостійких покриттів електродуговим напиленням (ЕДН) і їх електроконтактна обробка (ЕКО).

Предмет дослідження. Властивості електродугових покриттів після електроконтактною обробки.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено, що ЕКО напилених покриттів підвищує їх когезійну та адгезійну міцність до 180...200 МПа, щільність до 98...99 % та зносостійкість в 2,5...5 раз при таких параметрах обробки, як: силі струму $I = 6,0, \dots, 8,0$ кА, часу імпульсів $t_{ім} /$ пауз $t_{п}$ струму = 0,04 с., тиску $P = 29 \dots 30$ МПа.

2. Вперше показано, що плавне зменшення мікротвердості по товщині напилених покриттів після їх ЕКО забезпечує адгезійну міцність покриттів 180-200 МПа і мінімізує ймовірність їх відшарування.

3. Методами кількісного стереологічного аналізу, скануючої електронної мікроскопії і мікрорентгеноспектрального аналізу показано, що висока міцність зчеплення покриттів при ЕКО напилених покриттів із поверхнею деталі, яка зміцнюється, забезпечується за рахунок явища аномального масопереносу. Збільшення адгезії пов'язано з явищем прискореної міграції атомів при електропластичному ефекті за рахунок утворення значного дифузійної прошарку.

Практичне значення результатів досліджень. Розроблено технологічний процес відновлення валів ротора компресорної установки електродуговим напиленням з наступним їх ЕКО.

Особистий внесок автора. Основні результати роботи отримані автором спільно з науковим керівником д.т.н. Смирновим І. В. В наукових роботах, опублікованих в співавторстві, магістру належить характеристика комбінованих методів інженерії поверхні [2, 30-34] та методів газотермічного напилення [35-

37]; аналіз напрямків підвищення властивостей ГТН-покриттів [38-]; дослідження: впливу параметрів ГТН покриттів на їх властивості [35-37]; характеристика обладнання для напилення [3] та дослідження впливу його конструктивних та технологічних параметрів на властивості покриттів [35-37]; обґрунтування доцільності використання електроконтактної обробки для підвищення властивостей напилених покриттів [39-42]; характеристика електроконтактного методу зміцнення та дослідження впливу ЕКО на адгезійну міцність системи «основа-покриття» та когезійну міцність покриття; пористість, мікротвердість та зносостійкість покриттів [43, 44], спосіб обробки газотермічних покриттів [45].

Апробація роботи. Матеріали магістерської роботи були представлені на міжнародних науково-практичних конференціях: «Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика» 5-18 вересня 2015 р. та 20-23 вересня 2016 р., м. Одеса; «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 19-24 травня 2014 р. та 14 - 16 травня 2019 р. м. Чернігів; Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. м. Кропивницький: ЦНТУ, 2017 р.; International Research and practical conference The development of technical sciences: problems and solutions April 27-28 2018, BRNO, Czech republic; міжнародних науково-технічних конференціях: «Інженерія поверхні та реновація виробів» 1-4 червня 2015 р., Одеська обл. Затока, 2-6 червня 2014 р., 4-8 червня 2018 р. та 20-24 травня 2019 Свалява Закарпатська обл.; «Іноваційні технології в машинобудуванні» («ІННТЕХМАШ - 18») 19-20 квітня 2018 р. ПДУ, м. Новополоцьк, Білорусь; Всеукраїнській науково-технічній конференції "Інженерія поверхні. Комплексний підхід" НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського 11 грудня 2018 р. м. Київ; міжнародному науково-технічному семінарі «Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті», 10–17 лютого 2018 г., г. Брно, Чехія, 10–17 лютого 2019 г. Словачія.

Публікації. По темі магістерської дисертації опубліковано 18 наукових робіт, в тому числі: одна стаття - у виданнях, які увійшли до переліку міжнародних наукометричних баз, один патент України на корисну модель. 16 робіт апробаційної характеру.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, шести розділів, висновків, переліку джерел посилання. Робота виконана на 108 сторінках машинописного тексту і включає 75 малюнків, 25 таблиць, джерел посилання з 128 найменувань.

1. Сучасний стан проблеми. Обґрунтування мети та постановка задач досліджень

1.1. Керування властивостями поверхонь - технологічний напрямок зміцнення та відновлення деталей з подовженим терміном експлуатації

Для сучасних умов розвитку світової економіки характерна орієнтація на наукоємне і високотехнологічне виробництво, яке в змозі забезпечити високий рівень якості продукції, її конкурентоспроможність при одночасному мінімальному впливі на навколишнє середовище.

На основі технологічного огляду, проведеного експертами з числа відомих зарубіжних вчених, представників провідних галузей промисловості та керівників найбільш відомих фірм США, Канади, Великобританії, України та інших країн, серед пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки визначено новий технологічний напрямок - методи керування властивостями поверхні - інженерія поверхні.

Мета цього технологічного напрямку - відновлення та зміцнення деталей машин з подовженим терміном експлуатації, виготовлення деталей з зносостійкими поверхнями, які працюють в умовах тертя, підвищених температур, тощо.

Керування властивостями поверхні можна здійснити двома шляхами: модифікацією поверхні і нанесенням покриття. В першому випадку зміни властивостей поверхні відбувається за рахунок зміни структури поверхні шарів деталі або його легування, в другому - на поверхні формується шар з іншим, відмінним від основного матеріалу; складом.

1.2. Газотермічні методи нанесення покриття - один із методів керування властивостями поверхонь. Їх особливості, переваги та недоліки

Серед різних технологій нанесення захисних покриттів за останній час інтенсивний розвиток отримали методи газотермічного напилення, до яких відносяться: газополуменеве, плазмове, детонаційне та електродугова напилення [18-29]. В основі цих методів закладено єдиний принцип формування захисного шару з дискретних часток матеріалу розігрітих та прискорених струменем газу. Ці методи можуть бути використані як при виробництві нових деталей, так і при відновленні та зміцненні відпрацьованих свій термін деталей.

Стисла характеристика розглянутих вище методів газотермічного напилення покриттів приведена в таблиці 1.1 [18].

Таблиця 1.1. - Характеристика способів газотермічного напилення

Параметр	Спосіб напилення			
	Електро- дуговий	Газополу- меневий	Плазмовий	Детонаційний
Продуктивність установки, кг/год	3...36	1...10	0,5...0,8	0,1...0,6
Коефіцієнт використання напилюємого матеріалу	0,8...0,95	0,8...0,95	0,7...0,9	0,3...0,6
Адгезійна міцність, МПа	50...80	40...50	50...60	до 200
Температура частинок матеріалу, К	до 2000	до 3000	до 4000	до 3000
Швидкість частинок матеріалу, м/с	50...180	20...200	50...400	350...1000

Напилення - найбільш зручний спосіб формування покриттів на поверхнях деталей, які мають різноманітну конфігурацію. Цей процес порошковий, незалежно від виду використовуємих матеріалів (стержні, порошки, дріт) та джерел нагріву (полум'я горючого газу, електрична дуга, струм високої частоти, стабілізована газом електродугова плазма).

Сутність ГПН полягає в розплавленні напилюємих матеріалів газовим

полум'ям та розпиленні їх стисненим газом (рис. 1.1) [18, 46-51].

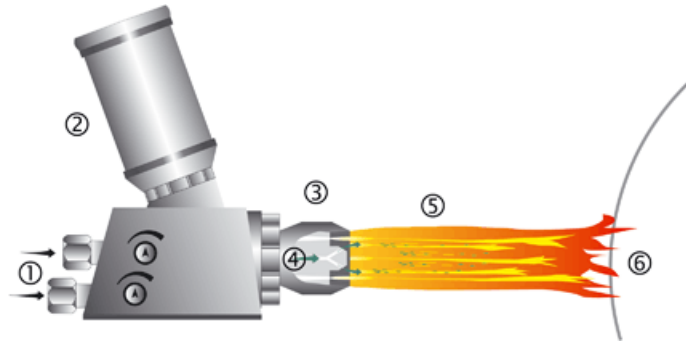


Рисунок 1.1. - Газополуменеве напилення: 1 – ацетилен;
2 – кисень; 3 - емкість з порошком; 4 – газ;
5 – ацетилено-кисневе полум'я та напилюємі частинки;
6 - деталь

Джерелом теплової енергії є газове полум'я, яке створюється в результаті горіння суміші кисень - горючий газ (ацетилен, природний газ, пропан - бутан, водень та ін.). Напилюємий матеріал подається у високотемпературну зону полум'я у вигляді порошку, стержнів чи дроту. Для газополуменевих апаратів характерні швидкості потоку газу нижче 100 м/с, частинок порошку до 50-100м/с, продуктивність напилення 1 - 10 кг/г, міцність зчеплення до 50 МПа.

Основним недоліком даного виду є низька якість покриття, через відносно невисокі швидкості частинок, які напилюються та великий склад окислів в покритті.

При плазмовому напиленні можлива як радіальна, так і осьова подача розпилюємого матеріалу у вигляді порошку або дроту (рис. 1.2.) .Для напилення застосовують плазмові струмені, які отримують в дугових плазмотронах [18-29]. В дугових плазмових розпилювачах джерелом нагріву газу є дуга, що горить між водоохолоджуємими електродами. В верхній частині плазмотрона розташовують стержневий електрод із вольфраму. В нижній частині електрод у вигляді соплового пристрою, який виготовляють з міді. До електродів підводять напругу від джерела постійного струму. Поряд з однодуговими плазмотронами для напилення використовують і двоструменні, трифазні та інші.

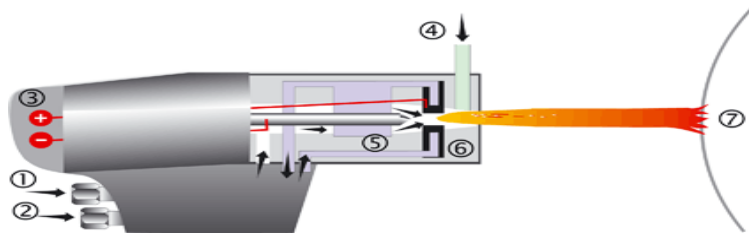


Рисунок 1.2. - Плазмове напилення: 1 - захисний газ; 2 – вода для охолодження; 3 – трум; 4 – порошковий матеріал; 5 – катод; 6 – анод; 7 - деталь

Детонаційно-газове напилення являє собою один із способів ГТН (рис. 1.3) [18-29]. При детонаційно-газовому напиленні покриття використовують специфічне джерело нагрівання, розплавлення та прискорення частинок матеріалу, що розпилюються. Детонаційна хвиля має високу швидкість розповсюдження і високу температуру. Хід детонаційного вибуху і теплофізичних параметрів продуктів реакції легко регулюються введенням до складу горючої суміші різноманітних газових технологічних додатків. Найчастіше використовують азот та аргон. При напиленні в камеру запалення 1 подається задана кількість робочої суміші газів. За допомогою малопотужного електричного розряду суміш запалюють. Теплові хвилі, що утворюються при цьому, породжують ударні, а потім і детонаційну хвилю. В дульному каналі детонаційна хвиля розпадається з утворенням продуктів згорання [18-29].

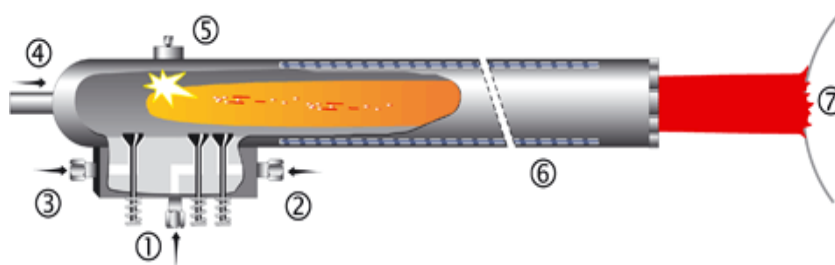


Рисунок 1.3. - Детонаційне напилення: 1 – ацетилен; 2 – кисень; 3 – азот; 4 - напилюємий порошок; 5 - устрійство підпалу; 6 - вихідна труба з водяним охолодженням; 7 - деталь

Одночасно з заповненням дульного каналу вибуховою сумішшю

вводять напиллюємий порошок. На виході із сопла утворюються дульне полум'я і потік напиллюємих частинок. Процес детонаційно - газового напиллення механізований та автоматизований і здійснюється в звукоізолюваному боксі. Керування ведеться поза межами бокса.

Для напиллення, де джерелом нагріву є дуга, використовується електродугове напиллення [52-58]. При ЕДН (рис. 1.4) утворення потоку напиллюємих частинок відбувається за рахунок плавлення розпиллюємого матеріалу високотемперною дугою і його диспергування швидкісним потоком газу.

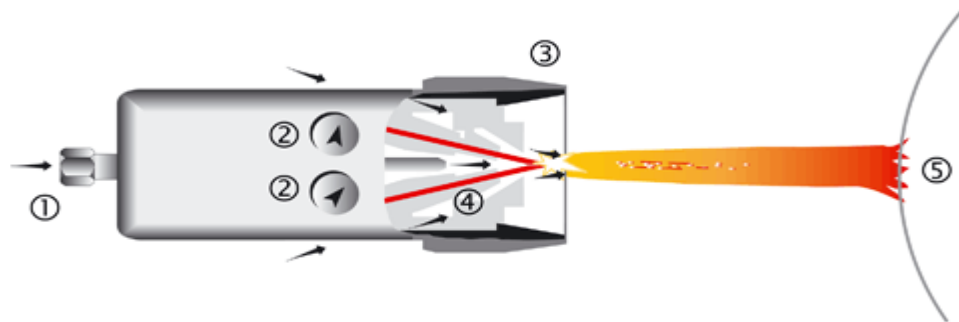


Рисунок 1.4. - Електродугове напиллення: 1 – розпиллюючий газ; 2 – подача дроту; 3 – сопло; 4 - дріт; 5 – деталь

Найбільше розповсюдження для напиллення покрить отримала двоелектродна схема електродугового апарату. Розпиллюємий матеріал у вигляді дроту 4 діаметром 1,0-0,5 мм подається в зону горіння дуги механізмом подачі 2. Напруга від джерела струму підводиться до контактних пристроїв. Між зхрещуючимися електродами розміщуються сопло 3, призначене для утворення швидкісного розпиллюючого потоку газу. Для цих цілей використовують стиснене повітря. Газовий потік зриває розплавлений метал з торців дротів, диспергує його і утворює потік частинок спільно з розпиллюючим газом. Конфігурація потоку подібна другим методам газотермічного напиллення. Метод електродугової металізації може бути класифікований по кількості електродних дротів, а також по механізації процесу. Використовують ручне та механізоване напиллення. Механізований процес має пристрій для переміщення розпилювача відносно напиллюємого виробу. Для отримання рівномірних по товщині покрить

на великих поверхнях задається по програмі складні рухи розпилювача.

Найбільш широке використання металізація отримала при створенні корозійностійких покриттів на різних деталях. Основною перевагою метода є його висока продуктивність, яка досягає 50 кг/г. Цей метод забезпечує також максимальне значення енергетичних ККД розпилення і напилення. Регенерація розпилюючого газу досягає економічності.

1.3. Вибір електродугового напилення (ЕДН) як перспективного способу ГТН для зміцнення та відновлення деталей та конструкцій

У світовій практиці зміцнення, відновлення деталей і антикорозійного захисту електродугове напилення (ЕДН) отримало значне розповсюдження як один з самих технологічних та продуктивних методів (продуктивність процесу у 3...4 рази вище, ніж при газополуменовому напиленні) [52-58]. Позитивні якості ЕДН (відсутність термоповодок, універсальність, зносостійкість у 1,5 – 1,8 рази вище загартованої сталі 45, сталість втомленої міцності відновлюємих деталей) не могли бути не помічені вченими та виробничниками.

Електродугове напилення (електродугова металізація) відоме з ХХ століття як метод «шоопірування», названого на ім'я німецького винахідника Шоопа [18, 52, 57]. Одним із перших книг, що написані на цю тему є: "Основы металлизации распылением" А.Ф. Троицкий, 1960 г. [57]. По класифікації GTS (Gemeinschaft Thermisches Spritzen) електродугова металізація (ЕДМ) є одним з способів нанесення газотермічних покриттів (ГТП) [52-58]. Опис процесу ЕДМ наводиться у книзі А. Хасуи "Техника напыления" (переклад з японського), 1975 р. [57]. Технологія електродугової металізації – один з самих основних напрямків досліджень, що проводяться з 1980 року в НІ «Ремдеталь» [57]. Науково-дослідними та дослідно-конструкторськими роботами показана доцільність використання електродугової металізації для виготовлення, зміцнення та відновлення деталей [18, 52, 57].

ЕДН [52-58] – один з найбільш економічних методів розпилення сталевих дротових матеріалів. Напиленням можливо наносити різноманітні покриття на вироби з різних матеріалів для формування захисних, зносостійких покриттів. При ЕДН, основа, на яку проводиться напилення, мало деформується, тоді, як при інших методах нанесення покриттів необхідно нагрівати до високої температури всю деталь або більшу її частину, що часто призведе до її деформації.

Класична технологія ЕДМ складалася з трьох основних операцій: струменево-абразивна обробка, нанесення підшарку з тугоплавкого ніхромового металу, а на нього – основного шару із вуглецевої сталі [57].

Технологічний процес ЕН включає такі операції: попередню обробку поверхні для забезпечення міцного зчеплення з металом, що напилюється, напилення металу на основу, обробку покриття після напилення, якщо у цьому є необхідність (термічна обробка, ущільнення покриття, фінішна обробка) [57]. Попередня обробка поверхні основи є важливим фактором для забезпечення міцного зчеплення напиленого покриття з деталлю [57].

Дроти-електроди напилюемого матеріалу подаються по направляючим пальника, до яких підведено струм (рис. 1.4). Напилене, з деяким припуском, покриття підлягає механічній обробці. Основними видами механічної обробки напилених покриттів є різання та шліфування. Для обробки покриттів із вуглецевих та корозійностійких сталей можливо використовувати швидкоріжучий і твердосплавний інструмент.

Основними технологічними параметрами ЕДН є склад матеріалу, що напилюється, діаметр та швидкість подачі дроту, потужність дуги, витрати розпилюючого газу, дистанція напилення. Відстань від електродугового апарату до напилюємої поверхні зазвичай складає 100 – 200 мм [57].

ЕДН має широку область використання: для відновлення деталей із сталі, чавуна та кольорових металів циліндричної та плоскої форми, що працюють в умовах нерухомих посадок, тертя ковзання і змащення; для усунення дефектів

сталевого та чавунного лиття; для підвищення жароміцності сталі алітуванням (покриття алюмінієм); для нанесення антифрикційних покриттів при виготовленні підшипників ковзання; для антикорозійного захисту металоконструкцій алюмінієм та цинком; для захисно-декоративних цілей; для нанесення зносостійких покриттів з підвищеною міцністю зчеплення на деталі транспортних засобів, які працюють в умовах знакоперемінних навантажень та витримують великі контактні навантаження при ударному навантаженні; для ремонту деталей (колінчасті та розподільчі вали, головки клапанів, вали водяного насосу та ін.) в умовах ремонтних підприємств з крупносерійним виробництвом, так і у невеликих майстернях з одиничним виробництвом [57].

Використання ЕДН забезпечується його такими перевагами як: отримання покриттів товщиною до 7 мм; незначним термічним впливом на вироби; нанесенням покриттів на деталі із різних матеріалів; отриманням покриттів з заданими властивостями. ЕДН відрізняється технологічною гнучкістю використання до різних розмірів деталей, низькою собівартістю відновлення (у 1,4 – 1,8 рази нижче наплавлення). Обладнання, на якому проводять напилення, є відносно простим та легким і його можливо достатньо швидко переміщувати. Габарити деталей не лімітують використання ЕДН [52-58].

Крім позитивних якостей ЕДН (технологічність, простота, висока продуктивність, відсутність термоповодок, низька вартість та універсальність) має і недоліки [57]. Цьому методу, як і усім методам ГТН, наявні вигорання легуючих елементів, тріщини та відшарування в покритті по причині наявності залишкових внутрішніх напружень за рахунок охолодження розпилюючим стисненим повітрям розплавлених частинок металу [57], недостатня щільність та міцність зчеплення.

До окислення напилюємого матеріалу призводять малі швидкості подачі дроту, а велика кількість тепла, що виділяється при горінні дуги, призведе до значного вигорання легуючих елементів, що входять у напилює мий матеріал (наприклад, вміст вуглецю у матеріалі знижується на 40 – 60%, кремнію та марганцю на 10 – 15%).

Якість відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей за рахунок нанесення покриттів ЕДН у значній мірі залежать від технічних характеристик обладнання, що використовується. При цьому рішаючи вплив на експлуатаційні властивості покриття роблять характеристика джерела живлення та конструкція апарату для напилення [57]. Однак не розроблені науково обґрунтовані рекомендації по використанню обладнання для електродугового напилення, що робить скрутним вірний вибір обладнання для ЕДН та режимів напилення, що забезпечуть високу продуктивність процесу та якість ЕДН-покриттів.

Удосконалення обладнання для ЕДН спрямоване на скорочення втрат напилюємого матеріалу та підвищення якості покриттів. Так, наприклад, у апараті для ЕДН газодинамічним диспергуванням металу ЕДМ-6ГМ прийнята схема зовнішнього безкамерного згоряння, енергоносієм – електрична дуга та стиснене повітря замінено електричною дугою та високошвидкісним струменем продуктів згоряння рідкого вуглеводневого палива [57]. Це дозволило: зменшити окисний потенціал середовища по зрівнянню з повітрям у 2 рази; підвищити якість відновлюємих та зміцнюємих робочих поверхонь деталей (збільшити адгезійну міцність покриттів на 56% та твердість на 18%, знизити пористість покриття у 2...6 рази); відмовитися від спеціального порошкового дроту і використовувати у 2 – 3 рази більш дешеві стандартні суцільнотягнуті дроти; знизити вартість процесів відновлення та зміцнення нанесенням покриттів ЕДН. Таким чином, шляхом удосконалення конструкції апарату для електродугового напилення та підвищення захисно – енергетичного рівня факелу розпилювання можливо зниження окислення диспергованого металу у факелі розпилювання, підвищення швидкості польоту частинок і таким чином рішення задачі підвищення ресурсу відновлюємих та ремонтуємих деталей ЕДН покриттів з високими фізико – механічними властивостями [57].

Факторами, що обмежують використання ЕДН завжди рахувалися невисока твердість покриття, що є причиною вигорання вуглецю в процесі напилення. При розпиленні дротяних матеріалів ЕДН максимальна твердість

покриттів із різних сталей знаходиться в межах 35 – 50 HRC_E, що значно знижує їх зносостійкість. Відмічені вище недоліки ЕДН обмежують ефективність та область його використання для підвищення ресурсу деталей. Основними показниками якості покриття також є міцність зчеплення та щільність. При електродуговій металізації вони недостатні. Щільність досягає 60-70 % а міцність зчеплення 25 - 40 МПа. Тому основною метою роботи є підвищення щільності та міцності зчеплення покрить отриманих ЕДН.

1.4. Основні напрямки підвищення якості напилених покриттів

Одним із основних напрямків підвищення якості напилених покриттів є вдосконалення конструкції електродугового апарату та активування процесу напилення [55-59] шляхом використання спеціальних прийомів, методів, пристроїв [59-75]. На практиці реалізуються наступні прийоми активації процесу напилення [55-59]:

- інтенсифікація процесу змішування робочих газів;
- надання додаткової енергії частки матеріалу, що розпилюється;
- підвищення ентальпії розпиленого потоку введенням терморегуючих компонентів;
- нанесення покриттів при зовнішній дії (ультразвукові коливання, електромагнітне поле і так далі [62, 64, 70]);
- подальша термообробка (ТО) [68, 71] чи хіміко-термічна обробка (ХТО) [38] покриття;
- іонно-вакуумне легування (ІА) [38].

Зносостійкість і міцності властивості електродугових покриттів підвищують різними методами обробки, а саме: механо-термічною (МТО), електроно-променевою (ЕМО), вібраційною (ВО), лазерною (ЛО), поверхнево-пластичним деформуванням (ППД), ультразвуковою (УЗО) [38, 62, 64, 70, 71]. Методи обробки поверхонь з покриттями є обов'язковою частиною

технологічного процесу (ТП) напилення. Завдяки ЛО [63-68] напилених електродугових покриттів суттєво підвищується зносостійкість в умовах граничного тертя та абразивного зношування, стійкість до високотемпературної корозії при забезпеченні найменшого термічного впливу на основу. Лазерне оплавлення [63-68] напилених покриттів збільшує мікротвердість у 2 – 10 разів, зносостійкість у 1,3 – 1,8 разів і більше. Оплавлення покриттів можливо здійснювати струмами високої частоти [68], високошвидкісною імпульсно-плазмовим струменем [59], у вакуумних пічах [59]. Підвищення мікротвердості та зносостійкості у 5 разів, міцності зчеплення у 2,5 – 3,5 разів, межі витривалості на 60 – 80% забезпечує електронно-променева обробка напилених покриттів [59-60]. Ефективно використання ХТО після напилення [38, 59]. Після борування зносостійкість напилених покриттів із сталі Св – 08 при сухому граничному терті підвищується у 100 разів. Іонне азотування (ІА) напилених сталей 40Х13 та Х18Н10Т покриттів забезпечило мікротвердість у поверхневому шарі від 6,5 до 15 ГПа, зносостійкість збільшилася у 8 разів [38]. Для підвищення зносостійкості напилених покриттів використовують просочення неорганічними матеріалами, поєднуючи дану операцію з об'ємною термообробкою (ТО) [68, 71]. Поліпшити характеристики покриття та активувати процеси дозволяє поверхнево пластичне деформування (ППД) [59]. Для підвищення триботехнічних характеристик та тріщиностійкості напилених покриттів при збереженні рівня зносостійкості використовують ультразвукову обробку (УЗО) [62, 64, 70]. Високошвидкісна обробка ультразвуковим інструментом напиленого покриття забезпечує отримання шару з щільністю близькою до щільності компактного матеріалу, що особливо важливо для зносостійких покриттів. Використання розглянутих вище методів збільшення міцності та зносостійкості напилених покриттів [59-75] обмежена з-за ряду недоліків. Зокрема, лазерна та електронно – променева обробка приводять до неоднорідної гетерогенної макроструктури поверхні і не забезпечують її хімічного модифікування. ХТО [38, 59] характеризується

виробів. При виборі методу обробки напилених покриттів доцільно використовувати способи із мінімальним нагріванням та малими величинами припусків на фінішну обробку. Суттєве підвищення зносостійкості напилених покриттів забезпечується механо – термічною зміцнюючою обробкою (МТО) [75-77].

1.5. Обґрунтування вибору методу електроконтактної обробки (ЕКО) для підвищення властивостей газотермічних покриттів (ГТН-покриттів).

Згідно аналізу розглянутої літератури і патентно - інформаційних досліджень [59-77] серед великої кількості існуючих методів зміцнення і відновлення деталей порошковими і компактними матеріалами перевагу слід віддати електроконтактним. Перевага цих методів в тому, що вони:

1. Дозволяють отримувати практично безпористі покриття з міцністю зчеплення понад 150 МПа;
2. Зберігають початкові властивості матеріалів покриття і підвищують властивості матеріалу основи;
3. Відрізняються мінімальною зоною термічного впливу струму на деталь внаслідок малої тривалості імпульсу нагрівання;
4. Відсутністю рідкої фази в зоні нанесення покриття, що значно розширює технологічні можливості процесу відновлення і зміцнення (дозволяє збільшити товщину покриття в 3 - 6 разів , сприяє більш рівномірному розподілу фізико - механічних властивостей по всій площині наносимого шару;
5. Характеризуються високою продуктивністю і низькою енергоємністю процесу нанесення покриття, відсутністю необхідності в застосуванні захисної атмосфери внаслідок короткочасового впливу на матеріал покриття,

26

відсутністю світлового випромінювання і газовиділення.

Вперше метод наплавки металевого порошка на поверхню деталі,,

заснований на електроконтактному нагріві був запропонований в 1939 р. А.Н. Рязузовим. Пізніше, в 1948 році І.С. Пеккер розглянув метод нанесення шару з твердосплавного порошку на сталеві деталі дисків зчеплення. Він використовував два роликові електроди, захисну атмосферу та неперервне закалювання місця розігріву охолоджуючою рідиною [76, 77].

В теперішній час електроконтактне припікання використовується для зміцнення і відновлення деталей будівельних, шляхових, сільськогосподарських машин та підвищення їх довговічності. Крім технологічних процесів, що передбачають нанесення порошкових композицій, знаходять застосування процеси, здійснюючі електроконтактне припікання компактних матеріалів, а також шарів, що попередньо нанесених, різними методами ГТН.

Технологічна схема процесу електроконтактного припікання (рис. 3.12) [76, 77] визначається формою і розмірами деталі, а також вимогами до отриманого покриття.

При виборі варіанту зміцнення чи відновлення приймаються до уваги специфічні особливості зміцнюємого чи відновлюємого виробу: конструкція, властивості матеріалу, необхідні розміри покриття, допустимий нагрів і т. ін. Необхідно також враховувати характер матеріалу покриття, його властивості, фракційний склад, особливості формування початкового електроопору шару.

До технологічних параметрів процесу електроконтактного зміцнення відносяться питомий тиск на напилену поверхню, діючий струм припікання, швидкість переміщення електродів, час тривалості імпульсу струму, час між імпульсами і початковий електроопір порошкового шару [76, 77]. На якість покриття впливають геометричні та фізико - механічні характеристики електродів (рис. 3.12).

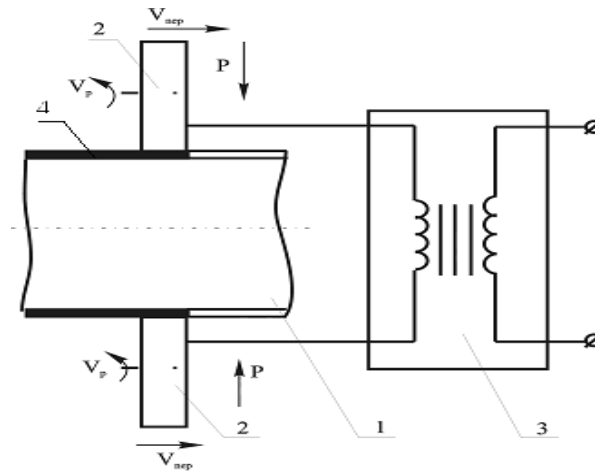


Рисунок 3.12 - Схема методу електроконтактної обробки покриттів: 1- деталь; 2-електрод; 3-трансформатор.

Процес електроконтактного припікання характеризується використанням електричного струму силою 1500 - 3000 А, вторинною напругою 1 - 6 В, тиском до 100 МПа. Існує наявність високої швидкості нагріву зміцнюємої зони [76, 77].

Висновки по розділу. Постановка мети і задач досліджень.

На підставі проведеного огляду літератури та патентно-інформаційних досліджень можна зробити наступні висновки:

- основною перевагою метода електродугового напилення є його висока продуктивність, яка досягає 50 кг/год, максимальне значення енергетичних ККД розпилення і напилення;

- основним недоліком електродугових покриттів є відносно низька щільність (60-70 %), та міцність зчеплення (40-45 МПа), що негативно впливає на якість покриттів і її експлуатаційні властивості.

Для усунення цих недоліків в пропонуємі роботі ставилась мета підвищення якості напилених покриттів, особливо міцності зчеплення, щільності та зносостійкості.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі.

1. Вибрати технологію попередньої підготовки поверхні деталей перед електродуговим напиленням - термоабразивне очищення.
2. Дослідити властивості покриттів, отриманих (ЕДН) із застосуванням закритої схеми формування металоповітряного потоку та активованим електродуговим напиленням (АДН).
3. Вибрати матеріали для нанесення покриттів.
4. Дослідити умови плавлення, диспергування та закріплення напилюємих частинок на поверхні при формуванні покриттів з порошкових дротів. Визначити фізико - механічні властивості покриттів, отриманих ЕДН з закритою схемою формування металоповітряного потоку та АДН)
5. З ціллю підвищення функціональних властивостей напилених покриттів розглянути можливі основні напрямки активування процесу напилення та методи обробки напилених покриттів.
6. Запропонувати обробку напилених покриттів одним із механо-термічних методів-електроконтактний. Визначити фізико - механічні властивості ЕДН-покриттів після електроконтактної обробки.

2. Методика, методи, устаткування та матеріали для досліджень

2.1. Загальна методика досліджень

Загальна методика досліджень полягає в наступному. Перший етап досліджень полягає в аналізі технологічних особливостей процесів газотермічного нанесення покриттів. Проводились дослідження ЕДН та АДН. На другому етапі експериментально оцінювався вплив технологічних параметрів процесів електродугового напилення з закритою схемою утворення металоповітряного потоку і активованого ЕДН та вплив ЕКО на властивості напилених покриттів. При цьому уточнювали показники процесів (тиск і струм електроконтактної обробки, швидкість напилення і розпилення, робочі напруга і струм, тиск газу та ін.), досліджувався їх вплив на щільність, мікротвердість, міцність зчеплення та зносостійкість.

В подальшому досліджувались кількісні характеристики якості покриттів, які отримуються електродуговим напиленням та електроконтактною обробкою напилених покриттів: щільність, міцність зчеплення з основою, трибологічні властивості, твердість. Проводилось їх порівняння, а також на прикладі конкретної деталі (вал ротора компресорного устаткування) оцінювались її експлуатаційні властивості, та була показана доцільність використання електроконтактної обробки на властивості напилених покриттів.

2.2. Характеристика обладнання для нанесення покриттів.

2.2.1. Апарати для ЕДН. Їх конструктивні особливості

Апарат для електродугового напилення призначений для нанесення покриттів з сталевих та порошкових дротів для відновлення металевих виробів, зокрема, нанесення зносостійких покриттів на спрацьовані шийки валів роторів нагнітачів [78-80].

Апарат для ЕДН (ЕДН-апарат) складається з привідного і подаючого механізмів та системи розпилення. В привідний механізм входить електропривід (двигун змінного струму) і одноступеневий черв'ячний редуктор з горизонтальною привідною віссю. Вихідні кінці осі у верхній частині редуктора є ролики, які служать активними протяжними елементами правої та лівої частини механізму протяжки електродних дротів [78-80].

Притискування дроту здійснюється пасивними роликами, які розміщені у відкидній кришці ЕДН-апарату. Тонке регулювання притискання ведеться за допомогою гвинтів в передній частині кришки, які міняють положення осі пасивних роликів. Права та ліва частини подаючого механізму електроізолювані між собою і корпусом металізатора [78-80].

Система розміщення являє собою головку з направляючими наконечниками та соплом, в яку подається два електродні дроти та повітря під робочим тиском. Струмоподаючі кабелі кріпляться до кронштейнів, які розміщені в передній частині металізатора [78-80].

Принцип роботи апарату ЕД-14 полягає в неперервній подачі двох дротів в розпилюючу головку, де між ними горить дуга. Розплавлений дугою матеріал електродних дротів направленим потоком стисненого повітря переноситься на попередньо підготовлену поверхню металу. Товщина напиленого шару регулюється швидкістю переміщення ЕДН-апарату і числом його проходів відносно поверхні, на яку наноситься покриття. При систематичній експлуатації апарату для напилення необхідно його систематично і своєчасно очищати від пилу та бруду, періодично проводити змащення черв'ячного механізму консистентною змазкою. В нашому випадку апарат ЕД-14 встановлено на супорті токарно – гвинторізного верстата. Робота ЕДН-апарату супроводжується світловим випромінюванням електричної дуги, виділенням металевого пилу та шумом [78].

До роботи на електродуговому апараті допускаються відповідно підготовлені, фізично здорові особи, не молодші 18 років. ЕДН-апарат або його

розпилювальна головка повинна бути розміщена в камері обладнаній засобами, які забезпечують повне поглинання супутних пилоподібних продуктів, що виділяються в процесі нанесення покриттів та поглинання шуму до санітарно допустимих норм. Для захисту очей від дії світлового випромінювання оператор повинен користуватись захисними окулярами із світлофільтром - 5 по ГОСТ 12.4 080-79. Для захисту органів слуху та дихання використовують протишумові навушники і респіратори Ц-2К по ТУ 26-16-2267-78. Все електрообладнання, яке знаходиться під напругою повинне бути надійно заземлене згідно діючих норм [78-80].

Для досліджень також використовували устаткування для активованого електродугового напилення АДН-10 [78].

2.2.2. Обладнання для електроконтактної обробки.

Дослідження процесу електроконтактної обробки напилених покриттів здійснювалось на спеціальній установці. Установа виконана на базі шовнозварювальної машини МШП-100-13.(рис. 2.2.) [77]. Установа УЄКП - 100.1 характеризується наступними параметрами:

- потужність номінальна , кВт. 100
- первинна напруга ,В. 380
- вторинна напруга ,В. 3,3 . 6,6
- кількість ступенів регулювання вторинної напруги, 8
- хід верхнього ролика-електроду, мм 50
- границі швидкості обробки, м/с 0,01-0,09
- найбільше зусилля на електродах , кН 1, 2
- ширина верхнього ролика-електрода, мм 8-16
- час імпульсів струму ,с 0,02 0,38
- час пауз, с 0,02 . 0,38

Величина зусилля притискання верхнього електрода встановлювалась по

тиску в пневматичній мережі за допомогою манометра ОБМ -1 -160 з ціною поділок $9,81 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ [7, 81].

2.3. Матеріали для дослідження

При ЕДН застосування будь-якої марки дроту, що випускаються промисловістю, технологічно можливо. При напиленні маловуглецевих нелегованих дротяних матеріалів покриття має низький рівень механічних властивостей. Твердість металу і оксидів різна і становить - 210...280 HV і 400 ... 560 HV відповідно. Міцність зчеплення з основою не перевищує 22 ... 24 МПа. Пористість покриття знаходиться в діапазоні 13...18%. Структура покриттів має шарувату систему, що складається з витягнутих зерен (ламелей) [82-85].

Для нанесення покриттів електродуговим напиленням використовували порошкові дроти [82-85], розроблені у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. – Порошкові дроти, розроблені у ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ

Марка проволони	Тип легування	$\sigma_{\text{цц}}$, HRC HV	Область застосування
ФМІ-2	X6Ю8P3	HRC 40 HV 650 $\sigma_{\text{цц}} = 40$ МПа	Відновлення шийок середньо навантажених колінчастих валів, розподільчі вали, захист від абразивного зносу поліграфічного обладнання
ФМІ-5	50X6Ю3Г2М2С2	HV 350 $\sigma_{\text{цц}}=40$ МПа	Відновлення посадочних місць деталей під підшипники
ФМІ-6	X6Ю6P3H4	HRC 40 HV1000 $\sigma_{\text{цц}}=45$ МПа	Захист від газової корозії та газоабразивного зносу при високих температурах (до 700 °С)
ФМІ-7	70X6Ю6P3W4	HRC 40 HV1150, $\sigma_{\text{цц}}=45$ МПа	Захист від газової корозії та газоабразивного зносу при високих температурах (до 600 °С)
ФМІ-8	50X6Ю2Г2Т2М2	HV 500, $\sigma_{\text{цц}}=40$ МПа	Відновлення шийок середньо навантажених колінчастих валів, розподільчі вали

Порошковий дріт (ПД) являє собою оболонку - стрічку із сталі 0,8 КП ГОСТ 503-81 розмірами 0,4 10 мм та шихту - порошку феросплавів, чистих металів, карбідів, боридів, оксидів, гранулометричного складу 100 - 200 мкм. Найчастіше всього використовуються такі шихти: $Ti + B_4C + SiC + Al$, $Cr_3 + B_4C + SiC + Al$, ФХБ + Al, Cr + Si + Al.

У Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України розроблено ПД діаметром 1,8 мм для електродугового напилення (табл. 2.1), дослідно-промислові партії яких виготовлені в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. Дрот серії ФМІ знайшли застосування для відновлення опорних шийок роторів і валів турбіни компресорів для перекачування газу на ремонтних підприємствах «Укренергосервіс», штоків гідроциліндрів шахтного обладнання.

2.4. Визначення коефіцієнту використання металу при ЕДН по конусу розпилу металл-газового струменя

Коефіцієнт використання матеріалу при ЕДН не робить прямого впливу на властивості покрить, але визначає його економічну ефективність [86-88]. Кут при вершині конуса розпилу струменю (рис.2.3) визначається за формулою:

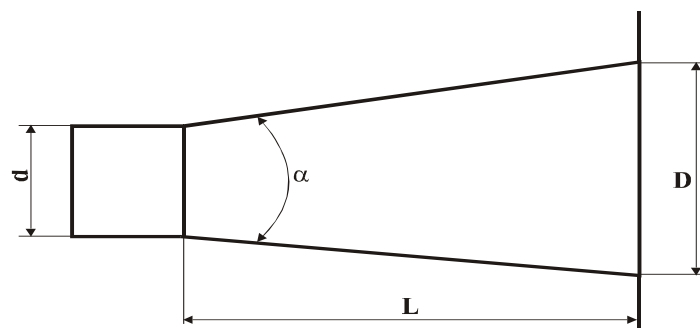


Рисунок 2.3. - Схема визначення кута конуса розпилу

$$\alpha = 2 \cdot \arctg(0.5(D - d)/L), \quad (2.1)$$

а коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{II} = \frac{m_{dp} - m_d}{m_{np}} \quad (2.2)$$

де m_d – маса деталі без покриття, m_{np} – маса ПД для напилення; m_{dp} – маса деталі з покриттям.

2.5. Методики та методи досліджень фізико – механічних властивостей поверхонь з покриттям

2.5.1. Дослідження мікроструктури та мікротвердості

Мікроструктуру покриттів досліджували на світловому мікроскопі "MeF-3" фірми "Reichert" (Австрія). Мікропористість покриттів визначали при розгляді нетруєного шліфа при збільшенні (100...200) [89, 90]. Для повнішого вивчення структури покриття та перехідної зони між покриттям і основою шліф труїли [90]. Товщину покриття визначали за допомогою мікрометра. Мікротвердість визначали по ГОСТ 11545 - 65 методом Виккерса та Роквелла (шкала "С") [89, 91].

2.5.2. Методики визначення пористості покрить

Пористість покриттів визначали кількісним стереологічним аналізом на автоматичному аналізаторі зображення "Mini-Magiscan" фірми "JouyceLoebl" (Англія). При дослідженні використовували програму "Genias 26, що включалає наступні етапи визначення пористості: калібрування зображення, фіксація зображення, сегментація, пористість. За допомогою калібрування завдається масштаб.

Методика визначення розміру пор складається з наступних етапів:

- 1) обрахунок пор з фотографій на мікроскопі MeF-3 фірми "Reichert" (Австрія);
- 2) кількісний аналіз та обробка результатів аналізу за програмою "Results" для виконання статистичного аналізу результатів по будь-якому із вимірів.

2.5.3. Методи виміру міцності зчеплення покриття з основним металом. Адгезійна та когезійна міцність композиції «основа-покриття»

Основною характеристикою, яка визначає працездатність металевих покриттів, є їх міцність зчеплення з основою. Найбільше розповсюдження для визначення характеристик міцності зчеплення покриття з основним металом отримали методи випробування на відрив і «штифтовий метод» [89, 93-97]. Штифтовий метод дозволяє проводити випробування безпосередньо після нанесення покриття на зразки. Зразком служить шайба, в отвір якій встановлюється штифт таким чином, що його торцева поверхня знаходиться урівень з площиною підстави шайби. На фронтальну поверхню торця штифта і шайби після відповідної підготовки наноситься покриття. Випробування проводять шляхом витягання штифта з шайби із записом зміни зусилля. Після відриву штифта від покриття визначають відношення максимального навантаження до площі торця штифта. Це відношення є кількісною характеристикою з'єднання покриття з основою.

Випробування покриттів здійснювалися на вдосконалених зразках, у яких штифт і отвір в шайбі мають форму конуса. Така форма штифта разом з виключенням впливу сил тертя зменшує зазор в сполученні і підвищує точність вимірювання. Схема випробувань на міцність з'єднання з основним металом методом витягання штифта представлена на рис.2.4.

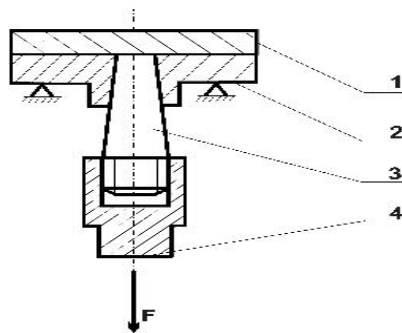


Рисунок 2.4. - Схема випробувань на міцність зчеплення з основним металом методом витягання конічного штифта: 1 – покриття; 2 – шайби; 3 – штифт; 4 – облямовування

Випробування проводили на розривній машині Instron 1195 при кімнатній температурі і швидкості руху активного захоплення 1 мм/хв.

Міцність зчеплення шару з підставою $\sigma_{\text{сц}}$ МПа, визначали по формулі:

$$\sigma_{\text{сц}} = \frac{F}{S} \quad (2.3)$$

де F – навантаження, при якому відбувся відрив, Н;

S – площа активної поверхні штифта, мм². $S = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$

де D – діаметр активної поверхні штифта.

Для визначення адгезійної і когезійної міцності композиції «основа-покриття», була використана методика випробувань і установка, розроблені в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України, [96, 97]. Особливістю розробленої методики є використання одного і того ж зразка при різних варіантах нанесення покриття. При дослідженні використовувався стандартний плоский зразок (рис. 2.5.), на який наносилося покриття.

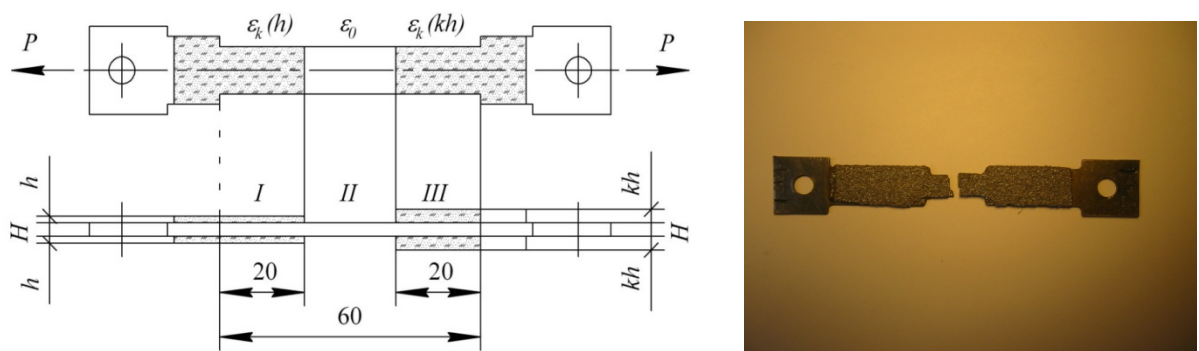


Рисунок 2.5. – Зразок для визначення адгезійної і когезійної міцності композиції «основа-покриття»

Плоский зразок (рис.2.5) технологічний для нанесення покриттів і зручний для наклепки тензодатчиків. На пропонуємому зразку (рис. 2.5) легше контролювати товщину покриття, що важливо, враховуючи, сильну залежність міцності зчеплення напиленого покриття від його товщини. Зразок з покриттям дозволяє визначати адгезійну і когезійну міцність; характер змін механічних

характеристик із зростанням товщини покриття. Для реєстрації граничного стану зразка з покриттям, тобто визначення критичної деформації, використовується явище акустичної емісії (АЕ).

Перед проведенням випробувань на одну із сторін зразка наклеювали тензодатчики (рис. 2.5) для визначення деформації основи і покриття. Зразок з тензодатчиками, наклеєними на основу і покриття, встановлюють в захоплення розривної машини FM-1000 (рис. 2.6). За допомогою струбцин до зразка кріплять датчик акустичної емісії.



Рисунок 2.6. - Розривна машина FM-1000

2.6. Дослідження зносостійкості поверхні

Дослідження зносостійкості отриманих покриттів проводили на машині тертя МИ-1М. Дослідження зразків на зносостійкість проводили за схемою “ролик-вкладиш” при змінному навантаженні. В якості ролика служили зразки з покриттям, а для проведення порівняльних характеристик використовували зразок з загартованої сталі 40. Розміри роликів: зовнішній діаметр 40 мм, ширина 10 мм. В якості контртіла були використані колодки зі сталі 45. Розміри колодки: внутрішній діаметр 40 мм, площа контактної поверхні 10-4 м².

Перед початком досліджень зразки приборблялися протягом 0,5 год з

метою досягнення сталого моменту тертя і температури в зоні тертя. Тривалість одного циклу досліджень складала близько 5 год. Величину зношення визначали мікрометричним методом за допомогою оптиметра.

2.7. Методика обробки результатів досліджень

Обробку експериментальних даних проводили відповідно до загальних принципів математичної статистики:

вибіркове середнє

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.4)$$

де x_i — результат i -го вимірювання; n — число вимірювань.

вибіркова дисперсія

$$S = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5)$$

сумарна похибка

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{об}}^2} \quad (2.6)$$

де $\sigma_{\text{пр}}$ - похибка приладу; $\sigma_{\text{в}}$ - похибка відліку; $\sigma_{\text{об}}$ - похибка обчислень.

Систематична похибка не оцінювалась.

При $s > 3\sigma_{\Sigma}$ істотні лише випадкові помилки. Тоді можливо обрахувати полуширину інтервалу, задавшись коефіцієнтом довіри a

$$\Delta x = t_{a,n-1} \cdot s, \quad (2.7)$$

де $t_{a,n-1}$ — коефіцієнт Стюдента.

Відносна похибка вимірювання

$$\varepsilon = (\Delta x / \bar{x})100\% . \quad (2.8)$$

Довірювальний інтервал

$$\mu = x \pm \Delta x . \quad (2.9)$$

Висновки за розділом 2

Вибрано обладнання і матеріали для експериментальних досліджень. Для ЕДН використовувались електродугові апарати ЕМ 14, розроблена ФМІ НАН України і АДН-10, розроблена ДП «ОІМ» НАН Білорусі. Для підвищення функціональних властивостей напилених покриттів виристовували установку для електроконтактної обробки, яка виготовлена на основі обладнання для контактної наварки ленти 011–1–02,. В якості матеріалів для дослідження використовували ПД (ФМІ –1, ФМІ –2, ФМІ -3).

Мікротвердість визначали методом Віккерса та Роквелла (шкала "С") [89, 91], а мікроструктуру покриттів досліджували на світловому мікроскопі "MeF-3" фірми "Reichert" (Австрія).

Пористість покриттів визначали кількісним стереологічним аналізом на автоматичному аналізаторі зображення "Mini-Magiscan" фірми "JoyceLoebl" (Англія).

Для визначення адгезійної і когезійної міцності композиції «основа-покриття» використовувалась методика і установка, розробленв в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України.

Дослідження зносостійкості покриттів проводили на машині тертя МІ-1М за схемою “ролик-вкладиш” при змінному навантаженні.

Обробку експериментальних даних проводили відповідно до загальних принципів математичної статистики:

3. Дослідження процесу електродугового напилення покриттів

3.1. Дослідження процесу ЕДН. Характеристика схем формування металоповітряного потоку.

При ЕДН головною задачею є отримання міцного зчеплення матеріалу покриття з матеріалом основи. Незалежно від метода нанесення покриття необхідна умова для цього - підготовка поверхні основного матеріалу [57, 104]. Всі способи підготовки поверхні перед нанесенням захисних покриттів направлені на усунення фактів, перешкоджаючих зчепленню наносимого матеріалу з поверхнею основи. По виду дії на поверхню деталі ці способи можна розділити на механічні, хімічні і термічні. Найбільш універсальним із розповсюджених видів струменево-абразивної очистки поверхні металу є метод дробоструменевої обробки. Він найбільш продуктивний та економічний, застосовується для очищення деталей складної форми із усіх матеріалів, що використовуються в машинобудуванні. В якості абразиву використовується любий із тих, що випускає промисловість абразивних матеріалів [52, 57, 104].

Успішно використовується також і гідроабразивна обробка, при якій абразив знаходиться в підвішеному стані в рідкому середовищі, що запобігає попаданню активного пилю в робоче приміщення. При обробці цим способом продуктивність праці по зрівнянню з дробоструменевим нижче на 15. . . 20 %. До других способів абразивної підготовки поверхні відноситься очищення металічними щітками, при якому знімається шар 0,5. . . 2 мм і забезпечується висока якість поверхні з шорсткістю 10...50 мкм. В останні роки в промисловості розповсюджено ультразвуковий спосіб очищення деталей. Він є високоефективним, економічним, значно скорочує об'єм ручної праці.

Для забезпечення високих технологічних показників процесу очищення абразивні матеріали повинні задовільняти наступним потребам: геометричні параметри і фізико-механічні властивості абразивних зерен повинні

відповідати матеріалу очищаємо) поверхні і потребам технологічного процесу до якості очищаємої поверхні і абразив повинен забезпечувати високу продуктивність процесу при достатньо високій зносостійкості. Абразивні матеріали, що застосовуються в промисловості поділяють по фізико-механічним властивостям на чотири групи: металічний дріб, литий або колотий із різноманітних матеріалів (чавун, сталь), дрібнорублений із дроту та залишків листового прокату, стружка (мідна, алюмінієва, латунна); штучні скляні шарики, карбід кремнію (карборунд), окис алюмінію (електрокорунд); мінеральні - дроблений граніт, кварц; органічні - дробленні шкаралупа горіхів, кістки абрикосів, вишень.

Найефективнішою технологією обробки деталей перед металізацією є технологія високоефективного термоабразивного очищення поверхонь твердих матеріалів та нанесення металічних, в тому числі антикорозійних покриттів на металічні конструкції. Технологія термоабразивної надзвукової очистки поверхонь твердих матеріалів "Торнадо" (рис. 3.1.) (метали, залізобетонні конструкції, вироби з кераміки, граніт та інші) від окалини, продуктів корозії, старих лакофарбових, органічних та інших покриттів і забруднень. Технологія дає можливість очищати поверхню до ступеню Ra 2,5...3 за міжнародним стандартом ISO 8501-1 1988 при шорсткості поверхні 30-50 мкм, що гарантує міцне щеплення захисних покриттів з основою. Застосуванням термоабразивної обробки одночасно досягається багатофункціональний ефект і здійснюється трудомісткий процес очищення поверхні від продуктів корозії, морських наростів, різнорідних мастил, старих лакофарбових, бітумних та композиційних покриттів, відбувається знежирення та активація металевих поверхонь, готових для наступного антикорозійного покриття.

Ефективність очищення досягається високими швидкостями абразивних часток із сопла установки понадзвуковим повітряним потоком, який утворюється за рахунок згорання палива в реактивній камері генератора, що підвищує ефективність очищення в порівнянні із звичайною

дробоструменевою обробкою в 4-5 разів.

Для впровадження технології вибрано установку "Торнадо", яка використовується для очищення та підготовки поверхні для ЕДН покриттів. Установка може використовуватись як в стаціонарних, так і в польових умовах. В стаціонарних умовах існує можливість роботи в камерах закритого типу (для малогабаритних деталей). Установка "Торнадо" має такі технологічні характеристики

тип палива	- газ, диз. пальне.
абразив	- сухий пісок, дріб, корунд.
витрати компонентів:	
паливо, л/год	- 4 ... 10
абразив, кг/год	- 300... 400
повітря, м ³ /год	- 200... 250
робочий тиск повітря, МПа	- 0,5...0,7
температура абразивної суміші, °С	
на зрізі сопла	- 800... 1000
на поверхні деталі	-70. . . 80
швидкість абразиву на виході із сопла, м/с	- 400... 800
продуктивність очищення, м ² /год	-15... 40

На рис. 3.1 показано графік, що відзначає залежність міцності зчеплення від величини мікронерівностей поверхні основи (рис. 3.1).

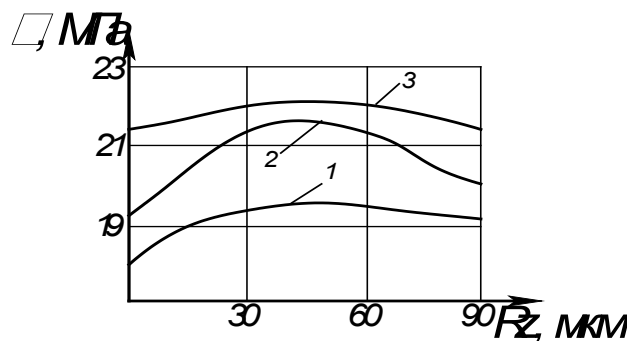


Рисунок 3.1 - Залежність міцності зчеплення від величини мікронерівностей поверхні основи: 1 -"Торнадо"; 2 – дробоструменева; 3 - піскоструменева

На теперішній час відомо декілька схем формування металоповітряного потоку при ЕДН, які умовно класифікують як діафрагмова, центрально соплова, диференційна та закрита (рис.3.2) [105-110]. У серійному виробництві найширше використовується діафрагмова схема. Її використано при виготовленні металізатора ЭМ -12, ЭМ -14 Барнаульського апаратно - механічного заводу та ЕДН-апаратів фірм "Месо" та "Mogul" у США. При використанні діафрагмової схеми формується достатньо широкий металоповітряний потік, який використовується в основному для отримання антикорозійних покриттів. Центрально - соплову схему використано у апараті ЭМ-17 виробництва того ж Барнаульського заводу, що дозволило розробникам отримати вузький металоповітряний потік. Створення цих ЕДН-апаратів дало можливість наносити покриття на тіла обертання, для прикладу, на різноманітні вали [108].

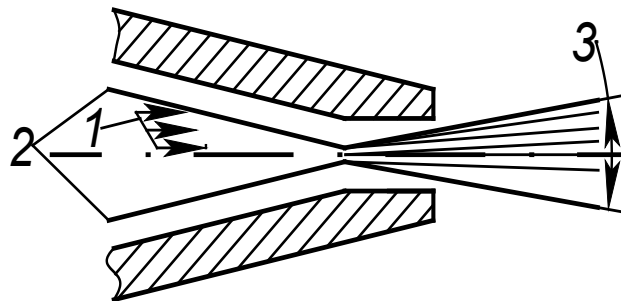


Рисунок 3.2 - Закрита схема формування металоповітряного потоку при ЕДН

- 1 - потік повітря;
- 2 - порошковий дріт;
- 3 - кут розходження металоповітряного потоку ($10^{\circ} \dots 15^{\circ}$).

Вищенаведена схема формування металоповітряного потоку відзначається грубо-крапельним розпиленням ПД при використанні звичайних (загально прийнятих) для ЕДН тисках повітряного потоку (0,5...0,6 МПа). Ці схеми формування потоку характеризуються тим, що дріт, який є анодом, плавиться повільніше, а значить сприяє появі в металоповітряному потоці

великих за розміром нерозплавлених частинок шихти [108]. Використання таких схем при розпиленні ПД не дозволило отримати в металоповітряному потоці краплі, менші за розміром від 300 ... 400 мкм.

3.2. Особливості закритої схеми формування металоповітряного потоку

З метою підвищення якості отриманих при розпиленні ПД покриттів в роботі запропонована розпилувальна головка до ЕМ (рис.3.3) [108]. В її основу покладена замкнена схема формування металоповітряного потоку. Замкнена схема формування металоповітряного потоку дозволяє отримати надзвичайно дрібні за розміром фракції розпилувальних краплинок (діаметром меншим за 50 мкм), які визначаються ще й високою швидкістю польоту від зони горіння дуги до поверхні, на яку здійснюється напилення. Таку схему розпилення слід використовувати, коли виникає необхідність нанести дрібнодисперсне покриття невеликої товщини (50 ... 200 мкм) розпиленням ПД, до складу шихти яких входять важкоплавкі елементи [108].

Замкнену схему формування металоповітряного потоку використано в електродуговому апараті виробництва ДМП "Газотермік" при ФМІ НАН України [108]. Головка складається з корпусу, в якому у взаємно перпендикулярних площинах існує пара конічних б та пара циліндричних 7 каналів, по яких подається повітря, і які сходяться у центральному каналі 8 корпусу 5. До корпусу головки закріплено панель 2 з електроізоляційного матеріалу, на якій змонтовано конструктивні підведення повітря. Корпус і панель обмежують об'єм, який виконує роль газорозподільної камери. Струмopровідники 1 конструктивно виконано як єдине ціле з конічними наконечниками 4, які входять з деяким зазором в конічні кільцеві канали б. Розпилувальна головка працює наступним чином: Повітря під тиском 0,6...0,7 МПа через штуцер 3 поступає в газорозподільну камеру, а потім через канали б

і 7 в центральний канал 8 сопла. Електродні дроти 9 через струмопровідники 1 і наконечники 4 подаються в точку перетину повітряних потоків, утворених конічними кільцевими каналами 6.

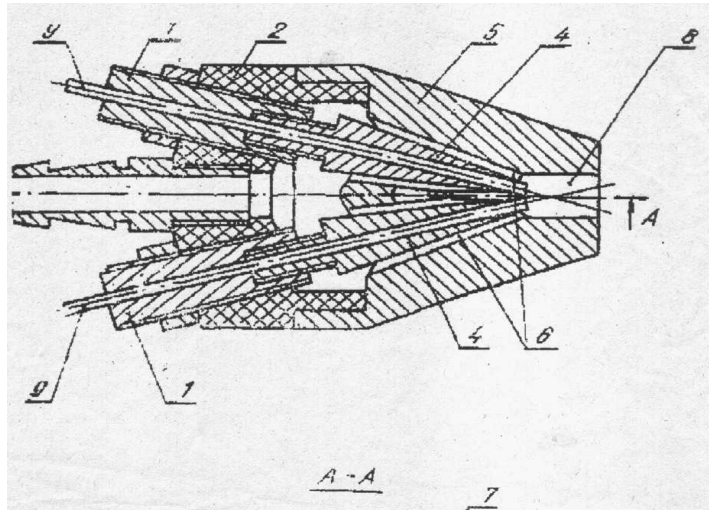


Рисунок 3.3 - Розпилювальна головка до електродугового апарату

Торці дротів створюють в повітряному потоці збурення і при розпиленні це приводить до налипання частинок розплавленого металу на стінки каналу сопла і виходу з ладу розпилювальної головки. Щоб не допустити виникнення подібного недоліку в корпусі головки крім двох конічних каналів конструктивно передбачено існування двох циліндричних каналів. Всі ці канали разом створюють потужний пристінковий потік, який не дозволяє розплавленим частинкам металу налипати на стінки каналу сопла 8. Діаметр каналу сопла D й вибирали рівним $D = (2,7 \dots 4,2) d$, де d - діаметр електродного дроту. При $D < 2,7d$ може виникнути контакт електродного дроту зі стінками каналу, так як під час роботи ЕМ кінці електродного дроту коливаються з амплітудою близько 0,5 мм, що може призвести до запалювання дуги між дротом і стінками головки внаслідок чого вона вийде з ладу. Із збільшенням діаметра сопла $D > 4,2d$ зменшується інтенсивність диспергації розплаву електродного дроту, що зумовлює зростання розміру розпилюваних частинок.

3.3. Вплив конструкції ЕДН-апаратів на розпилювання матеріалу, умови плавлення, диспергування, формоутворення капель та закріплення напилених частинок на поверхні при формуванні покритть

Закрита схема формування металоповітряного потоку (рис. 3.4) забезпечує утворення дуже дрібних фракцій розпиленних частинок (діаметром близько 50 мкм), які визначаються високою швидкістю польоту (від 50 м/с до 130 м/с) (рис. 3.5) [108].

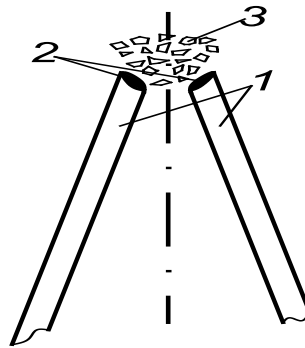
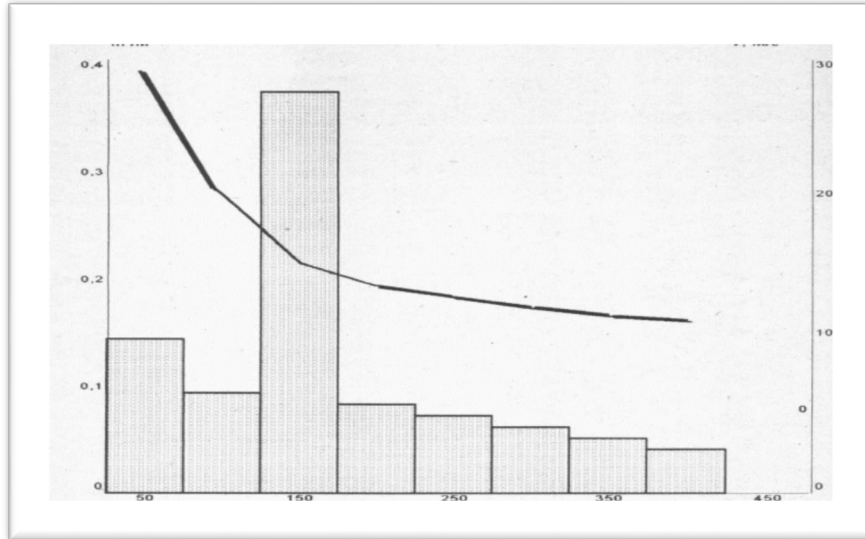


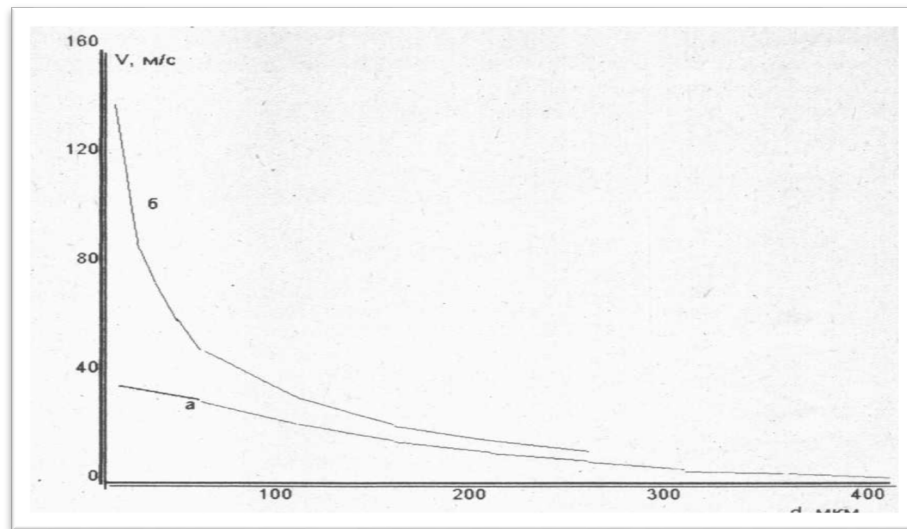
Рисунок 3.4 - Закрита схема утворення краплин з розплаву порошкових дротів: 1 - електроди; 2 - розплав порошкових дротів; 3-розплавлені частки.

Розмір краплини залежать в першу чергу від в'язкості розплаву, тобто від компонентного складу ПД[108]. Чим більш важкоплавкі компоненти входять до складу шихти ПД, тим більша за розмірами краплина буде відриватись від електродів. Множинне утворення краплин реалізується насамперед тоді, коли робоча напруга перевищує 50 В, а струм - 200 А. При цьому підвищується температура розплаву металу і тиск іонізованого газу. Всі ці фактори змінюють картину масопереносу. На торцях дроту з'являється багато язичків-протуберанців з рідкого металу, які внаслідок втрати рівноваги утворюють відразу багато краплин. Покриття формується з краплин, що утворюються при диспергуванні розплаву. Розміри частинок після диспергації коливаються в широких межах: 1...1000 мкм. Всі частинки мали доволі правильну кулеподібну форму. Багато з них мають всередині пустоти. Серед частинок є прозорі кульки, які можуть бути оксидами бору. Це може свідчити

про те, що в процесі диспергування розплаву оксиди, які є на поверхні шихтових матеріалів у вигляді тоненької плівки, у розплаві спливають, утворюючи шлакову фазу.



а



б

Рисунок 3.5 – Гістограма відносної кількості частинок розплаву металу від її величини та відповідна їм швидкість польоту в залежності від розміру частинок m - маса частинок відповідної фракції; M - маса частинок всіх фракцій. Параметри розпилення $U = 35$ В; $I = 150$ А; $P = 0,5$ МПа: а) – центрально - соплова схема розпилення; б) - закрыта схема розпилення;

Базові ЕДН-апарати, що використовуються на практиці здійснюють розпилення одним центральним соплом [78, 105, 108]. Використовується електродуговий апарат ЕМ-17 має видозмінену модернізовану головку, що має назву "закрите сопло". При такій схемі напилення відбувається частковий обжим дуги, який здійснюється в одній площині, а видовження дуги – вздовж напрямку розпилення. При цьому збільшується час перебування часток в високотемпературній області потоку. Це сприяє проплавленню матеріалу проволоч, зменшенню в'язкості розплаву і мілкому диспертуванню часток. Схема "закритого сопла" [78, 105, 108] забезпечує горіння дуги в самому каналі сопла. В ньому повітря взаємодіє з частинками розплавленого металу, при цьому загальний повітряний потік розподіляється на два: периферійний, спрямований поблизу стінок каналу і центральний, що проходить через зону горіння дуги. Центральний потік в каналі не має змоги відбиватися від дуги бо обмежений стінками каналу. Це забезпечує дрібне диспергування розплавленого матеріалу, а концентрація енергії дуги в малому об'ємі каналу сприяє повному проплавленню тугоплавких інгредієнтів шихти. Таким чином збільшується високотемпературна зона дуги, а отже і час перебування розплавлених часток в ній Це забезпечує високу міцність зчеплення. "Закрита" схема може бути реалізована з допомогою розпилювальної головки (рис. 3.4). Головка має корпус, в якому розміщені у взаємно перпендикулярних площинах пара конічних та циліндричних каналів для подачі повітря, які сходяться в центральному каналі корпусу. До корпусу головки кріпиться панель з електроізоляційного матеріалу, в якому розміщені два струмопроводи та штуцер для підводу повітря. Між корпусом і панеллю утворюється об'єм, який служить газорозподільною камерою. Струмопроводи виконані збірними з конічними наконечниками, які входять з зазором в конічні канали.

Розпилююча головка працює наступним чином: повітря через штуцер під тиском 0,6 - 0,8 МПа поступає в газорозподільну камеру, а потім, через канали в центральний канал [78, 105, 108]. Електроди - дроти подаються в точку

перетину повітряних потоків, утворених кільцевими каналами. Торці дротів створюють в повітряному потоці завихрення. При запаленні дуги ці завихрення зростають. Це приводить до налипання частинок на стінки канапа сопла і через деякий час головка виходить з ладу. Щоб цього не відбувалося в корпусі головки, крім двох кінцевих конічних каналів, виконані два циліндричні. Всі вони разом створюють потужний пристінковий потік, який не дає прилипати розплавленим частинкам на стінки каналу сопла. Експериментально встановлено наступну залежність: чим більший діаметр сопла тим більшою повинна бути потужність дуги, щоб реалізувався найпотужніший режим ЕДН. Частота викидів розплавленого металу залежить від швидкості подачі дроту електрода. Із збільшенням швидкості - вона зростає. При такому режимі металізації порції рідкого металу набувають додаткової швидкості, а також додатково диспергуються [78, 105, 108].

3.4. Вибір матеріалу для покриття

Загальні вимоги до наносимого на деталь покриття - відповідність його властивостей умовам експлуатації деталі. Підвищення надійності та довговічності деталей в умовах, наприклад, зносу чи корозії потребує таких якостей покриття, як зносостійкість чи корозійна стійкість. Ці властивості можуть бути забезпечені тільки при використанні відповідного матеріалу для покриття. Тому для формування покриття з заданими експлуатаційними властивостями потребується створення відповідного матеріалу, які мають вищезазначені склад і властивості.

Крім забезпечення експлуатаційних вимог матеріал для покриття повинен мати відповідні фізико-хімічні властивості, які забезпечують узгодження з властивостями матеріалу деталі.

В умовах окислювальної, відновлювальної чи нейтральної атмосфери високотемпературного струменя апарата для напилення не повинно бути

великого окислення, втрат легуючих домішок чи основних компонентів матеріалу. Таким чином матеріал для нанесення покриття повинен мати ряд необхідних властивостей, що задовольняють різні потреби.

Контроль діаметра дроту (відхилення 0,05...0,09мм) виключає його застрягання, знос деталей апарату та виготовлення покриття з дефектами, які залежать від нерівномірності подачі. В дроті не повинно бути вузлів, згинів та фізичних дефектів. Вона обробляється спеціальною змазкою для зменшення зносу сопла та зведення до мінімуму зплавлення з ним. Контролюються твердість дроту, розмір зерен та її фазовий склад. Для доброго розмотування та намотування необхідно забезпечити правильний напрям намотки, відсутність перехресних поворотів, правильну упаковку готової продукції.

Для нанесення покриття в процесі ЕДН використовували порошкові дроти. Порошковий дріт являє собою оболонку - стрічку із сталі 0,8 КП ГОСТ 503-81 розмірами 0,4x10 мм та шихту- порошку феросплавів, чистих металів, карбідів, боридів, оксидів, гранулометричного складу 100-200 мкм (см. розділ 2).

Для ЕДН необхідно використовувати шихти з мілкодисперсним порошком. При застосуванні шихт з крупнодисперсним порошком, покриття отримується з низькою міцністю зчеплення. На міцність зчеплення також впливає діаметр дроту. Із зменшенням діаметру дроту міцність зчеплення збільшується. Кожна партія дроту повинна супроводжуватись сертифікатом якості, де вказано: завод - виготовлювач, марка, діаметр, хімічний склад та дата виготовлення. Перед використанням дріт необхідно просушити в печі. Дріт повинен зберігатися і транспортуватися в умовах, що запобігають пошкодженню упаковки, що захищає його від корозії та механічних пошкоджень.

3.5. Використання продуктів горіння пропано-повітряної суміші для підвищення властивостей ЕДН--покриттів

Схема процесу ЕДН представлена на рис. 3.6. [52, 56-58]. ЕДН-апарати працюють як на постійному, так і на змінному струмі. Доцільно працювати на постійному струмі. При постійному струмі характер роботи ЕДН-апарата стійкий, покриття має дрібнозернисту структуру, яка забезпечує отримання відновлюваних поверхонь більш високої якості. При використанні змінного струму дуга горить нестійко і супроводжується великим шумом. Тому для ЕДН доцільно використовувати джерела постійного електричного струму, що забезпечує робочий струм напilenня 350...800 А при напрузі 17...45 В.

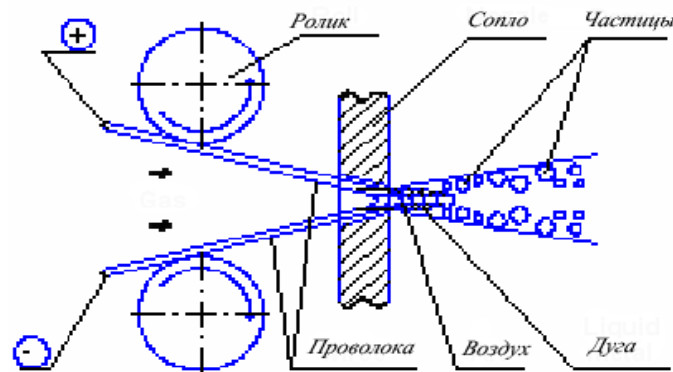


Рисунок 3.6. - Принципова схема процесу ЕДН

Основні технологічні параметри процесу АДН: склад, діаметр і швидкість подачі дровів, що розпилюються, потужність дуги, витрата розпилювального газу, дистанція напilenня, швидкість, кут зустрічі потоку частинок з поверхнею напilenня. Для підвищенні властивостей ЕДН-покриттів необхідно спрямовувати основні зусилля на управління гранулометричним складом розпилюємих частинок, властивостями розпилюємих частинок і несучого середовища. коефіцієнтом зосередженості потоку. [56-58, 106, 107].

Властивості ЕДН-апаратів можливо підвищити шляхом: 1) підготовки поверхні під нанесення ЕДН-покриття; 2) вибору конструктивних параметрів обладнання для ЕДН; 4) вибору складу і властивостей несучого середовища і матеріалів для ЕДН; 5) керування технологією ЕДН, зокрема параметрами газотермічного

поток (швидкістю і температурою газу і частинок, коефіцієнтом зосередженості потоку); б) подальшою обробкою.

Заміна стисненого повітря захисними газами (аргоном, азотом) при нанесенні покриттів відкриває широкі технологічні можливості для їх отримання практично без окислів з високими фізико-механічними властивостями [105-107]. Використання в якості розпилювального газу продуктів згоряння пропаноповітряної суміші дозволяє значно знизити окислення напилюваного металу і вигорання легуючих елементів. Варіюванням витрат пропану і повітря можна створювати нейтральну або відновну атмосферу в зоні плавлення електродного дроту і тим самим знижувати окислення металу і вигорання легуючих елементів. Відсутність кисню як окислювача палива значно знижує собівартість нанесених покриттів і підвищує надійність і безпеку виконуваних робіт.

Зазвичай відстань від сопла до поверхні становить 50...350 мм. При невеликій дистанції напилення знижуються витрати розпилюваного матеріалу, а розпилюємі частки потрапляють на поверхню в більш гарячому стані. Оптимальна дистанція напилення 80...200 мм. Нижня її межа рекомендується для апаратів з невеликою продуктивністю. Нанесення покриття доцільно починати при невеликій відстані, а потім вести процес при великій відстані. Відрізок часу між нанесенням окремих шарів покриття повинен бути по-можливості менше, щоб уникнути утворення окислів і осідання пилу, які перешкоджають зчепленню частинок між собою.

Швидкість переміщення ЕДН-апарату вибирається таким чином, щоб за один прохід наносився шар покриття товщиною до 0,2...0,3 мм. Занадто повільне переміщення апарату викликає перегрів покриття і поверхні, що погіршує їх якість.

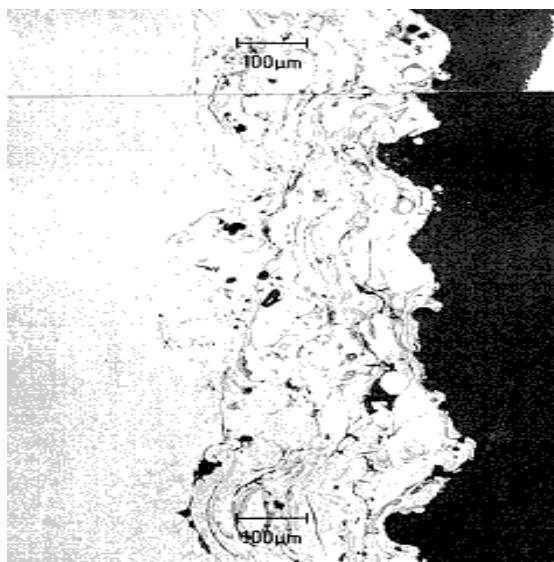
Адгезійна і когезійна міцність покриття - пайбільш важлива властивість ЕДН-покриттів [114]. Міцність зчеплення покриття з поверхнею – єдиний критерій, який використовують у практиці зміцнення і відновлення деталей

покриттями [111-114] та визначають його працездатність.

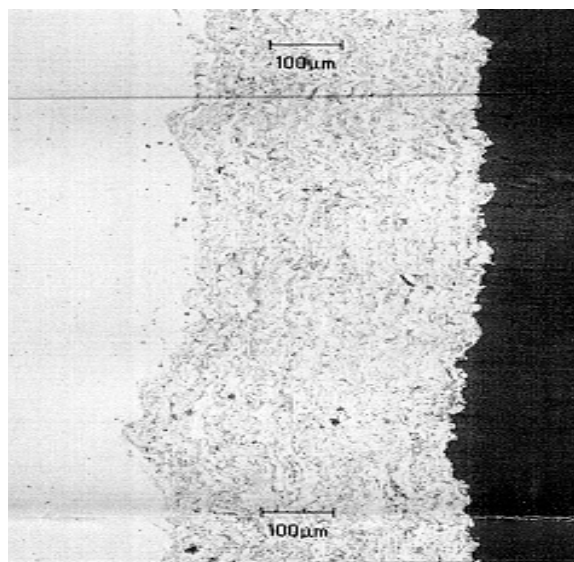
Узагальнюючи результати досліджень міцності зчеплення покриттів з поверхнею в залежності від режимів ЕДН слід зазначити, що адгезія покриття із збільшенням швидкості витікання струменя продуктів згорання пропано-повітряної суміші, і, отже, швидкості розпилюємих частинок матеріалу покриття, підвищується (рис.3.9) [106, 107].

Політ частинок при розпиленні продуктами згорання пропано-повітряної суміші відбувається в захисній атмосфері, що забезпечує надтонку плівку окислів на поверхні частинок. Тому частинки потрапляють на поверхню з більш високою температурою і з тонкою оболонкою оксидів, що зумовлює появу не тільки механічного зачеплення частинок матеріалу покриття з матеріалом поверхні, але і мікроприварювання частинок до неї.

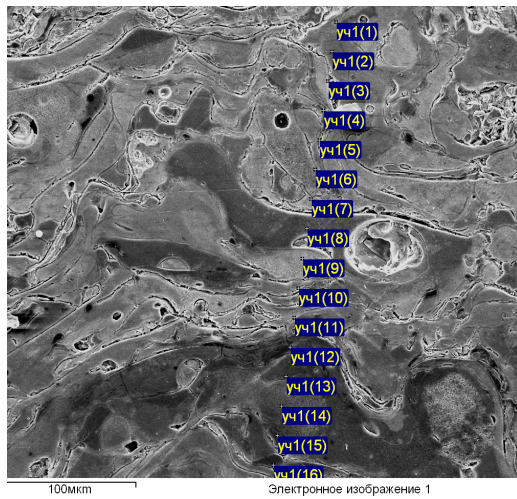
Металографічні дослідження ЕДН-покриттів (рис. 3.7) показали, що їх щільність складає приблизно 40% при ЕДН и 70% при АДН. При цьому дослідження міцності зчеплення дозволили дійти висновку, що її величина 40 МПа при електродуговому напиленні та 80...100 МПа при активованому електродуговому напиленні



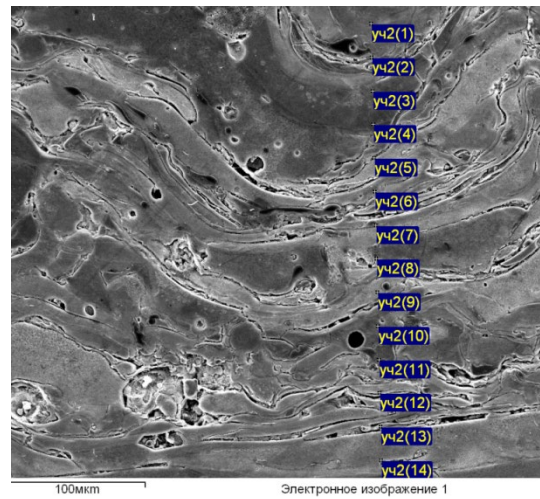
а) x 100



б) x 100



в) x 500



г) x 500

Рисунок 3.7 – Мікроструктура покриття з порошкового дроту: оболонка із сталі 0,8 і шихта Cr - 8%, В - 3%, Al - 5%, залишок Fe: а) ЕДН; б) АДН

Висновки за розділом 3

Обґрунтовано, що підвищити властивості ЕДН-покриттів можливо за рахунок удосконалення технології ЕДН шляхом підготовки поверхні під напилення, вибору складу матеріалу покриття і несучого середовища, за рахунок конструктивних параметрів ЕДН-апаратів, активуванням процесу ЕДН, керування параметрами ЕДН та гранулометричним складом часток, що розпилюються.

Дослідження, розглянуті в розділі дозволили відмітити основні переваги ЕДН з закритою схемою формування металоповітряного потоку - дуга горить у каналі, діаметр якого співрозмірний з поперечним перерізом дуги, а стінки каналу захищені від напилення краплин розплавленого металу пристіночними повітряними потоками. Це дозволяє одержувати краплини, максимальний діаметр яких не перевищує 50 мкм;

Недоліки ЕДН-покриття низька міцність зчеплення 30 - 45 МПа і висока пористість 25 - 30 %.

покриттів після електроконтактної обробки

4.1. Властивості ЕДН-покриттів після ЕКО. Когезійна і адгезійна міцність, пористість, мікротвердість

Одним з найбільш ефективних методів механотермічної обробки (МТО) [75-77] є електроконтактна обробка (ЕКО) [78, 77]. Перевагою ЕКО є максимальна відтворюваність механічних властивостей покриттів [116-120]. Після електроконтактної обробки напилених покриттів їх міцність зчеплення зростає до 160... 220 МПа (рис. 4.1.) [116, 117], а пористість зменшувалася до 3...5% (рис. 4.2) [116-120], Отримані результати підтверджуються металографічними дослідженнями (рис.4.3).

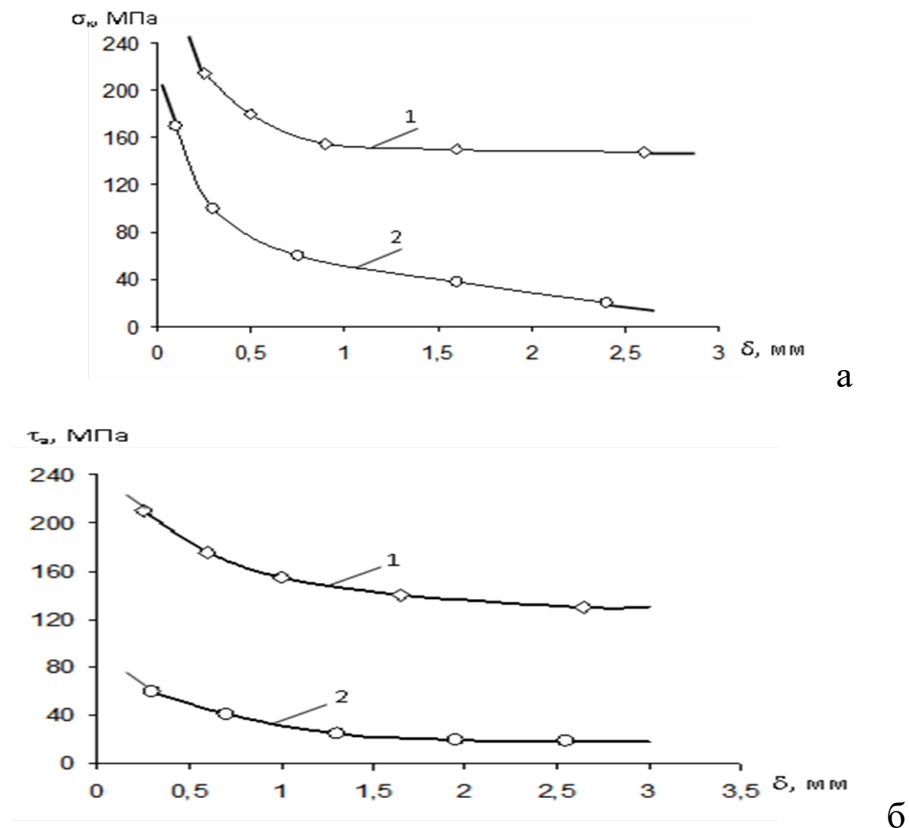


Рисунок 4.1 - Залежність когезійної (а) та адгезійної (б) міцності від товщини покриття: 1-ЕДН-покриття, ЕДН-покриття після ЕКО

Цвет	Класс	Описание	% площади
■	1	Поры	10.29 %
■	2	Основа	89.71 %

Цвет	Класс	Описание	% площади
■	1	Поры	14.30%

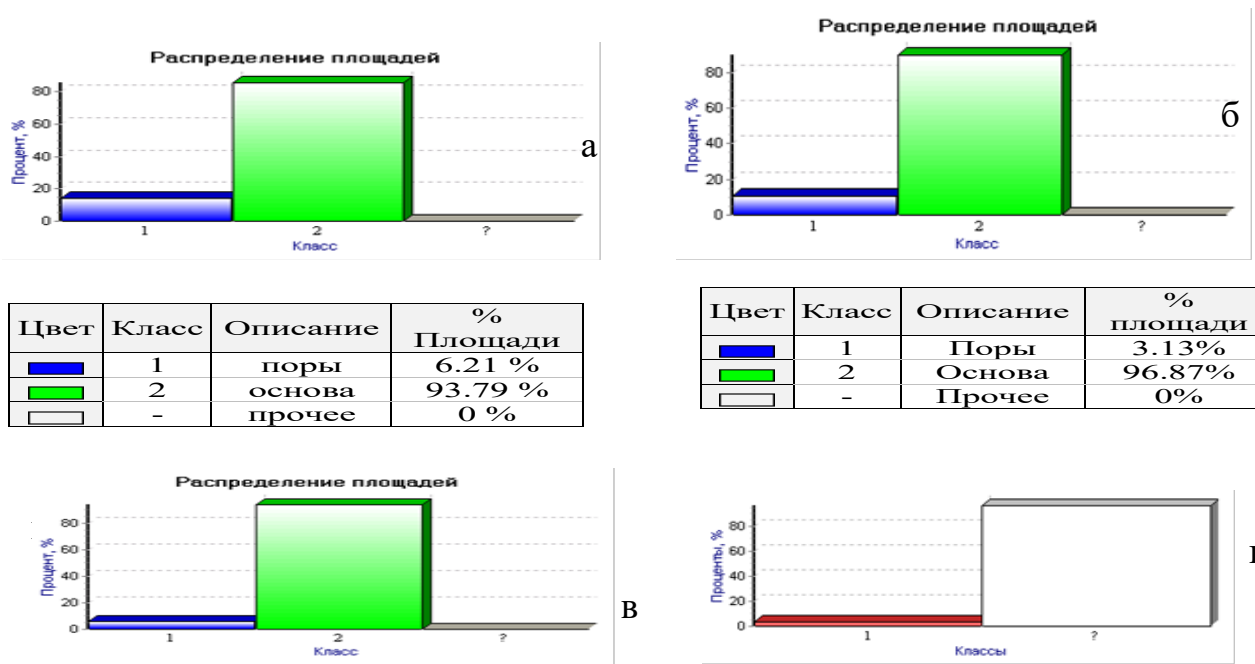


Рисунок 4.2-Результаты кількісногостереологічного аналізу пористості напиленого покриття (а, б) та напиленого покриття після ЕКО (в, г)

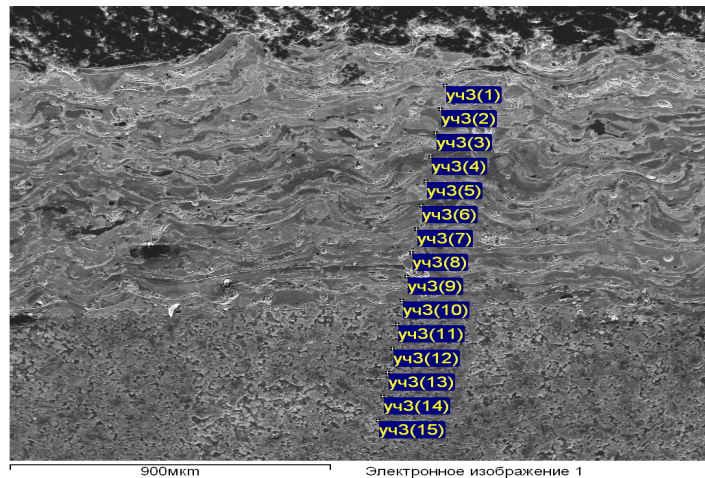


Рисунок 4.3 - Структура напиленого покриття після обробки електроконтактним методом

Дослідження розподілу мікротвердості в напиленому покритті після електроконтактної обробки представлено на рисунку 4.4.



Відстань від поверхні, мкм

Рисунок 4.4. Розподіл мікротвердості по глибині напиленого покриття після його електроконтактної обробки

4.2. Дослідження впливу технологічних параметрів ЕКО на властивості покрить, отриманих ЕДН, та визначення зв'язку між ними

Металографічні дослідження покрить отриманих ЕДН показали, що після ЕКО (рис. 4.2, 4.3) їх щільність складає 90 - 95 %. Експериментально встановлена залежність пористості ЕДН-покриття від тиску ЕКО (рис. 4.5).

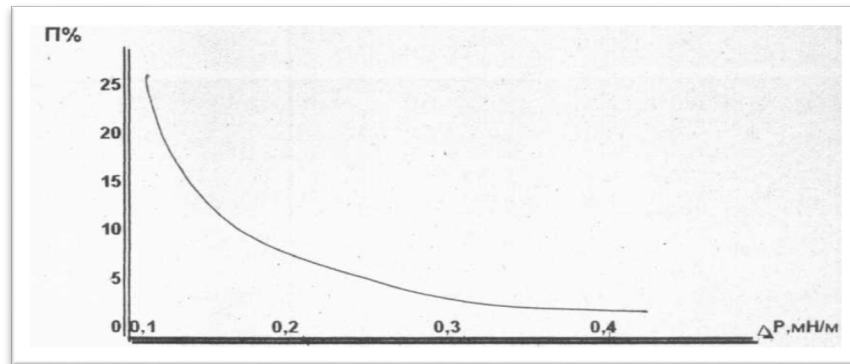


Рисунок 4.5 - Вплив тиску ЕКО на пористість ЕДН-покрить

Встановлено (рис.4.6 і 4.7), що при струмі ЕКО $I = 13 \dots 16$ кА залежність міцності зчеплення від тиску ЕКО має лінійний характер:

58

збільшення тиску на електроді підвищує міцність зчеплення; зменшення струму до $I = 8 \dots 10$ кА знижує міцність зчеплення з 180...200 до 60...110 МПа.

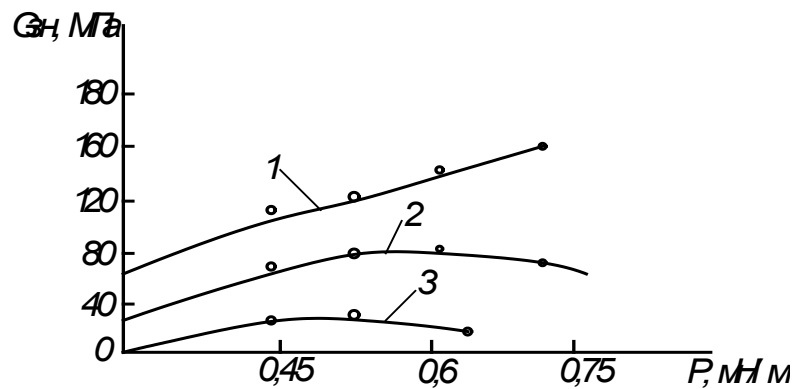


Рисунок 4.6 - Залежність міцності зчеплення припеченого шару від тиску електрода на покриття при струмі: 1 - ($I = 13...16$ кА); 2 - ($I = 11...14$ кА); 3 - ($I = 8...10$ кА).

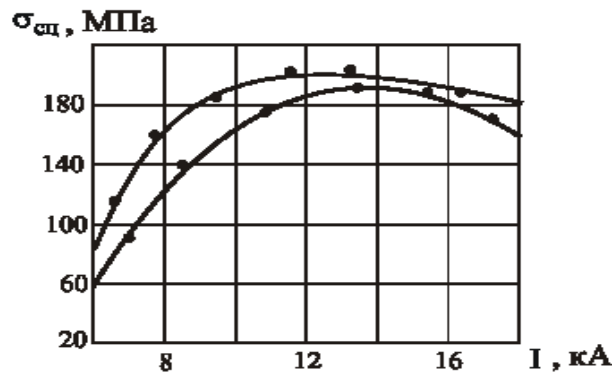


Рисунок 4.7 – Залежність міцності зчеплення покриттів із ФМІ-1(■), ФМІ-2(●) від струму ЕКО (I) при тиску ЕКО (P) 30 МПа, товщині напиленого шару (δ) 2 мм.

На рис. 4.8 та 4.9 представлена залежність твердості шару покриття і зносостійкості від параметрів ЕКО (струму та питомого тиску). Ріст твердості по мірі збільшення струму припікання обумовлюється підвищенням міцності зчеплення. Процес ЕКО відбувається тим раніше, чим менший тиск електрода на напилений шар, при цьому спостерігається більше падіння твердості в наслідок зберігання значної кількості розплавленого металу безпосередньо під електродом. Збільшення тиску сприяє зміцненню максимальної твердості покриттів в області більш високих значень струму припікання, а також зменшенню вірогідності утворення рідкої фази в покритті в результаті

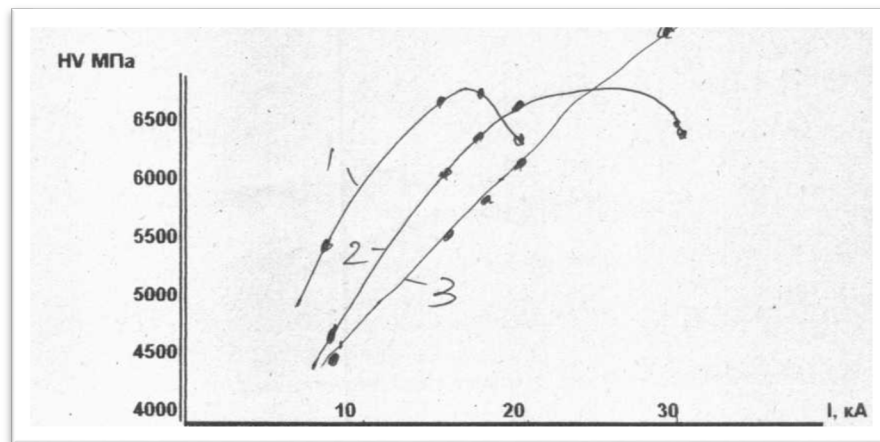


Рис. 4.8. Залежність твердості покриттів від струму припікання при різних значеннях питомого тиску: 1 - $P = 0,35$ МН/м ; 2 - $P = 0,55$ МН/м; 3 - $P = 0,68$ МН/м.

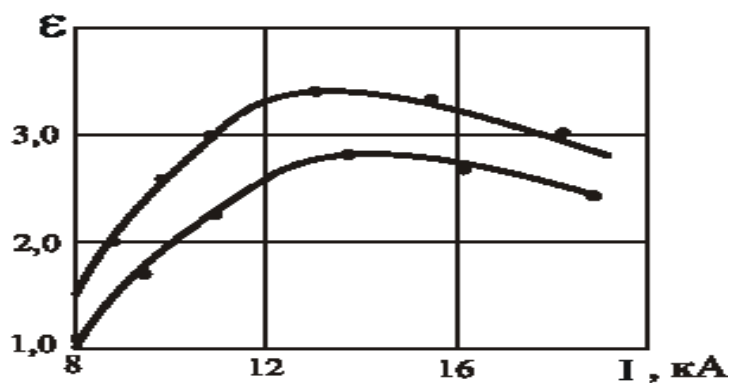


Рисунок 4.9 – Залежність зносостійкості напилених покриттів із ФМІ-1(■), ФМІ-2(■) від струму ЕКО (I) при тиску ЕКО (P) 30 МПа, товщині напиленого шару (δ) 2 мм.

4.3. Дифузійні процеси при електроконтактній обробці напилених покриттів. Роль аномальної дифузії та електропластичного ефекту при ЕКО

За допомогою методів аналізу металографії і рентгеноспектрального досліджували межі розділу основа-покриття, що показало що термічна

активація приводить не тільки до посилення хімічної взаємодії, але і утворенню перехідного дифузійного шару.

Роль дифузійних процесів видно із рисунка 4.10. Результати досліджень показали, що за час дії синхронізованих імпульсів струму і тиску, в результаті реалізації електропластичного ефекту (ефекту Троїцького [121-123]) відбувається високошвидкісна пластична деформація ($10 \leq \dot{\varepsilon} \leq 10^2 \text{ c}^{-1}$) унаслідок чого виникає розвинена дифузійна зона між покриттям і металом основи (рис.4.10). Крім того, має місце також дифузія атомів основного металу в покриття, практично на всю товщину покриття. При режимах припікання: $I = 9 \text{ кА}$, t імпульсу = 0,06 з, $p = 80 \text{ МПа}$, $D = 0,3 \cdot 10^{-2} \dots 16 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$, глибина проникнення складає до 10.12 мкм. Із зростанням величин тиску і сили струму дифузійна зона зростає і досягає значення $\sim 25 \text{ мкм}$

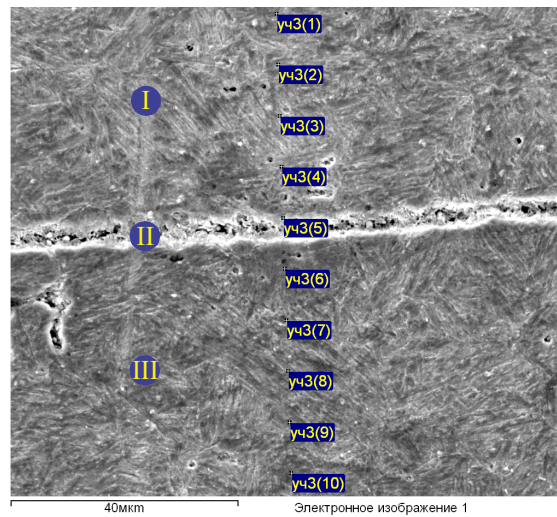


Рисунок 4.10-Мікроструктура напиленого покриття після ЕКО: 1 - покриття, 2 –дифузійний прошарок, 3 - основа

Рівномірність розподілу елементів в матриці в шарах, паралельних поверхні, оцінювалася шляхом проведення кількісного аналізу з кроком 10 мкм на дистанції 200 мкм. Концентрація легуючих елементів на середині дифузійної зони (при оптимальних параметрах обробки) показана в таблиці 4.1.

З метою виявлення впливу процесу ЕКО на рівень міжфазної взаємодії компонентів композиційного порошку, був проаналізований характер концентраційних кривих, отриманих методом кількісного

рентгеноспектрального аналізу на шліфах початкових покриттів, отриманих напиленням. Слід зазначити, що рівень міжфазної взаємодії при ЕКО нижче,

ніж при ЕДН. За своєю суттю ЕКО є вторинною термообробкою (точніше термомеханічною обробкою), яка сприяє завершенню фізико-хімічних процесів, що почалися при ЕДН, і поліпшенню кінцевої якості покриттів.

Таблиця 4.1 - Вплив стану матеріалу і виду дифундуючих атомів на рухливість атомів в металах при квазістатичній (D) і імпульсній (DM) діях

Диффузанти	Металл	$D \cdot 10^{11}, \text{см}^2/\text{с}$	$D_M \cdot 10^5, \text{см}^2/\text{с}$
Ni	Залізо (основа)	0,4	3,0
Cr	Нікель (покриття)	6,5	6,3
W	Залізо (покриття)	3,2	5,2
Fe	Нікель (покриття)	7,6	3,9
Al	Нікель (покриття)	65,0	7,1
Mn	Нікель (покриття)	98,0	9,2

Концентраційні криві, зняті методом рентгеноспектрального аналізу, використовувалися для вивчення дифузії основних елементів на межі отриманого покриття - основа деталі.

Розрахунок коефіцієнтів дифузії проводили по методу Матано [121-123], з використанням формули $D = \frac{1}{\tau} \frac{dx}{dC} \int_0^c x dC$, де τ - час проходження дифузії; $\frac{dx}{dC}$ - похідна (відстань від нульової лінії) по z (концентрації); $\int_0^c x dC$ - інтеграл від цієї функції при граничних значеннях концентрації.

Відповідні коефіцієнти дифузії (масопереносу) представлені в табл.4.1. З розгляду таблиці витікає, що швидкісна деформація при ЕКО приводить до збільшення рухливості атомів, як в покритті, так і в основі (деталі) на 10-11 порядків аналогічно тому, що відбувається при механічному навантаженні і пропусканні імпульсів електричного струму [121-123]. Відзначимо, що автори [121-123] вивчали масоперенос при нижчих і вищих технологічних параметрах. Таким чином, приріст коефіцієнтів масопереносу в порівнянні з квазістатичним

стисненням є наслідком імпульсного характеру навантажень, а не конкретних значень струму, напруги, тиску, тривалості імпульсу і ін.

Таким чином, методами кількісного стереологічного аналізу, скануючої електронної мікроскопії і мікрорентгеноспектрального аналізу показано, що висока міцність зчеплення покриттів при ЕКО напилених покриттів із поверхнею деталі, яка зміцнюється, забезпечується за рахунок явища аномального масопереносу. Збільшення адгезії пов'язано з явищем прискореної міграції атомів при електропластичному ефекті за рахунок утворення значного дифузійної прошарку.

Висновки за розділом 4

Застосування електроконтактної обробки ЕДН-покриттів дозволило підвищити їх міцність зчеплення в 4 - 5 разів, а щільність в 1,5 - 2 рази. Електроконтактна обробка ЕДН-покриттів забезпечує практично безпористі покриття 95 % з міцністю зчеплення 180 - 200 МПа.

Підвищення властивостей ЕДН-покриттів ЕКО визначається ефективністю дії двох складових: термічною і механічною. Термічний чинник обумовлює інтенсивний нагрів матеріалу покриття до температури плавлення основної складової матеріалу покриття і створює сприятливі умови для протікання дифузійних процесів. Механічний чинник визначає формування зміцнених структур.

Визначені коефіцієнти дифузії (масопереносу) при механічному навантаженні і пропусканні імпульсів електричного струму. Їх значення на 10-11 порядків вищі, ніж при відпалі і напиленні.

Результати досліджень показали, що за час дії синхронізованих імпульсів струму і тиску, в результаті реалізації електропластичного ефекту (ефекту Троїцького) відбувається високошвидкісна пластична деформація, внаслідок чого виникає розвинена дифузійна зона між покриттям і металом основи.

Методами кількісного стереологічного аналізу, скануючої електронної

мікроскопії і мікрорентгеноспектрального аналізу показано, що висока міцність зчеплення покриттів при ЕКО напилених покриттів із поверхнею

деталі, яка зміцнюється, забезпечується за рахунок явища аномального масопереносу. Збільшення адгезії пов'язано з явищем прискореної міграції атомів при електропластичному ефекті за рахунок утворення значного дифузійної прошарку.

5. Практичне використання електроконтактної обробки для підвищення функціональних властивостей ГТН-покриттів при відновленні і зміцненні деталей компресорної техніки

5.1 Характеристика вузла та деталі

Корпус нагнітача із сталеві улітки, вхідного та нагнітаючого патрубка і блоку опорно-упорного підшипника що кріпиться болтами до торцової стінки улітки (рис. 5.1). На вході газу в нагнітач встановлена захисна решітка, що запобігає попаданню сторонніх предметів.

Корпус підшипника розділений перегородкою, яка розділяє порожнини загазованого та чистого мастила. В корпусі є патрубок для зливу мастила і флянець для з'єднання свічки, за допомогою якої газ і пари мастила виводяться через фільтри в атмосферу.

Робоче колесо в гарячому стані насаджується на вал ротору з натягом. На основному дискові робочого колеса вифрезеровано 14 лопаток, зтягнутих у бік, протилежний обертанню ротора. Покривний і основний диск з'єднані між собою заклепками, що проходять через тіло лопаток.

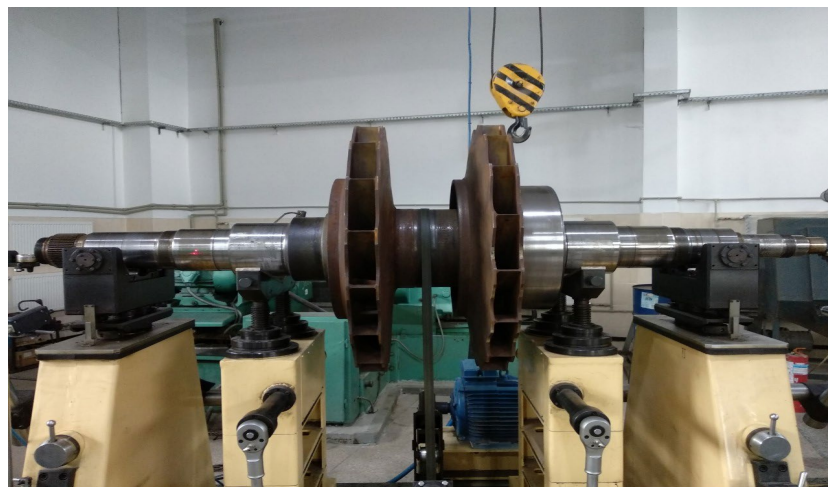


Рисунок 5.1 - Ротор нагнітача в сборі

На вал ротора з боку підходу газу накручується гайка - обтікач, яка для більшої міцності з'єднання стопориться штифтом. На валу ротора існує два упорних диска і бурт для реле осьового зсуву. На упорному диску з боку робочого колеса є виступи для ущільнення підшипника.

Ротор обертається на опорному і опорно – упорному підшипниках ковзання. Вкладиш опорного підшипника призначений також для охорони внутрішньої порожнини нагнітача від проникнення газу в машинний зал. Опорна частина вкладиша та упорні кільця виготовленні із бронзи марки БрОФ10-1 і залиті бабітом марки Б-83.

Для запобігання попадання мастила із опорно – упорного вкладиша у порожнину улітки в нагнітачі існує ущільнення. Для зменшення витікання газу із порожнини нагнітача у порожнину всмоктування на покриваючому диску встановлюється ущільнення у вигляді алюмінієвої обойми.

Нагнітач встановлюється на металевобетонному фундаменті на клинових прокладках, поза приміщенням приводу і відокремлюється від останнього герметичною перегородкою.

Вал ротора нагнітача компресорного агрегату призначений для передачі обертального руху колесу робочому, яке розташоване на валу. За допомогою валу робоче колесо здійснює подачу газу з простору низького тиску в простір високого тиску шляхом нагнітання тиску.

Вал ротора на другому кінці має зубчасту втулку, яка передає обертальний рух від ступені низького тиску до валу ротора. Вал має поверхні під підшипники ковзання, на які він опирається.

Кільцеве ущільнення являє собою набір гумових кілець, які забезпечують стійкість від прориву газу у підшипниковий відділ. Посадкові місця під підшипники підлягають механічній обробці на круглошліфувальному верстаті для отримання відповідної шорсткості.

Вал ротора нагнітача виготовлений з легованої сталі 35ХМ. Хімічний склад якісної конструкційної легованої сталі 35ХМ наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. - Хімічний склад сталі 35ХМ

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Cu	Ni
					не більше			
0,32- 0,40	0,17- 0,37	0,40- 0,70	0,80- 1,10	0,15- 0,25	0,035	0,035	0,30	0,30

5.2 Характеристика видів зношування поверхонь валу ротора нагнітача

В процесі роботи вал ротора нагнітача газової турбіни компресора працює в обертальному русі нагнітаючи високий тиск газу. Основним видом зносу є корозійно – механічний та молекулярно – механічний. Механічне зношування – це зношування, при якому внаслідок механічного впливу змінюється форма та розміри, об'єм частин, які труться, без суттєвих фізичних та хімічних змін (рис. 5.2). При молекулярно – механічному зношуванні механічний вплив супроводжується одночасним впливом молекулярних або атомних сил на поверхню деталі. Корозійно – механічне зношування характеризується механічним зношенням у супроводі з суттєвими хімічними змінами поверхонь, тобто при терті матеріал вступає в хімічну взаємодію з середовищем.



Рисунок 5.2 – Дефекти поверхні шийок ротора

При зношенні поверхонь валу порушується зазор в підшипниковому вузлу, що тягне за собою підвищений знос шийок та вихід з ладу ротора.

Тому важливим є засоби, які дозволяють знизити знос поверхонь деталі, які підлягають механічному зносу. Це ретельна механічна обробка поверхні (шліфування, доводка, тонке точіння тощо); нанесення на поверхні валу зносостійких покриттів; зміцнення поверхні деталі загальним та поверхневим загартуванням; ретельне припрацювання відновлених деталей; застосування нових прогресивних технологій.

5.3 Технологічний процес дефектації деталі

В процесі контролю всі деталі розподіляють на придатні до використання без ремонту, ті, які вимагають ремонту та непридатні. Ступінь зношення опорних шийок валу перевіряють мікрометром. Розміри биття не повинні перевищувати встановлені норми вказані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. – Розміри биття при зносі шийок колінчастих валів

Биття	Місце биття	Величина биття, мм
Радіальне	Шийка валу	0,01
	Ділянки валу під ущільнення	0,06
	Ділянки покритки під ущільнення	0,06
	Зовнішній діаметр колеса	0,2
Осьове	Торець маточини покритки	0,1
	Бокова поверхня покритки	0,6
	Бокова поверхня диску	0,3
	Торці упорних буртів під підшипник	0,01
	Торці буртів під реле осьового зсуву	0,02

В цілому дефектом називають кожен невідповідність деталей вимогам встановленої нормативно - технічної документації. Дефектовка деталей має ціль оцінити технічний стан деталі і визначити її придатність до подальшої експлуатації.

При дефектовці виявляють:

- а) знос робочих поверхонь деталі, вимірювання розмірів поверхонь, геометричних форм деталі, наявність задирок та рисок;
- б) дефектація деталі у вигляді згину, зкручування, короблення;
- в) тріщини, викришування;
- г) зміна фізико – механічних властивостей від дії високих температур, хімічної дії середовища.

Наявність тріщин на шийках валу контролюється ультразвуковим дефектоскопом УД2-12. Цей процес включає в себе повний контроль шийок валу, що дає повний контроль за структурою та поверхневим шаром деталі.

5.4 Технологічний процес відновлення валу ротора нагнітача

Мета технологічного процесу металізації – створення на поверхні деталі шару з заданими властивостями, необхідними для тривалої і надійної роботи деталі у визначених умовах її експлуатації.

Технологічний процес електродугової металізації складається з окремих технологічних операцій, включаючи, крім основної операції нанесення покриття, підготовку матеріалів, що напилюються, і напиляємої поверхні деталі, а також наступну механічну, термічну, хіміко – термічну обробку деталі з покриттям. Крім того існують і операції транспортування деталей, матеріалів і деталі з покриттям, а також періоди їх збереження до і після технологічних операцій.

Технологію створення захисного покриття на поверхні деталі визначають інтенсивність, дію і послідовність різних речовин і енергетичних дій

(випромінювання, газ, рідина, тверде тіло). Сукупність цих дій в окремих технологічних і послідовність операцій дозволяють отримати ту чи іншу якість покриття.

Встановлено, що з'єднання напилюємих частинок з поверхнею основи і між собою в покритті визначається первинно хімічною взаємодією і в меншій мірі силами міжмолекулярної взаємодії і механічним зчепленням. У зв'язку з цим суттєвий вплив мають склад і температура навколишнього середовища в зонах взаємодії елементів системи металізації поверхні. Якими є поверхня деталі, частинки наносимого матеріалу, газ у вигляді високотемпературного рухливого струменя, або нерухомого навколишнього повітря. Окислення поверхні частинок наносимого матеріалу, відрив частинок залежить від об'єму змішуємого з потоком повітря, а також кількості транспортуємого повітря, температури, до якої нагріваються частинки в струмені і температури повітря в струмені. Ці фактори або частина їх в більшій або меншій мірі впливають на частинки при їх взаємодії з поверхнею.

Таким чином, напилюєма поверхня в процесі нанесення покриття отримує різні по інтенсивності, продовженню і виду дії, що характеризується зміною напрямку теплового потоку, температури і складу навколишнього середовища. Тому любі відхилення параметрів металізації, частинок напилюємих і напилюємої поверхні від заданих значень можуть тільки погіршити якість покриття.

Головними технологічними параметрами електродугової металізації є склад електродного дроту, потужність дуги, витрати розпилюючого газу, діаметр електродного дроту, кут зустрічі потоку частинок з поверхнею напилення, відстань напилення, швидкість переміщення п'ятна напилення.

Збільшення тиску та витрата газу приводить до підвищення швидкості струменя та його розпилюючої здатності. Необхідно добиватися до надзвукового характеру витікання з мінімальним перепадом тиску на зрізі сопла.

Із збільшенням діаметра дроту підсилюється турбулізація розпилюючого струменю. Малі діаметри дроту ускладнюють процес, так як потрібна висока швидкість подачі і видно інтенсивне блуждання кінців дроту, що плавляться.

Для заданого режиму роботи розпилювача вибирають максимальну швидкість подачі дроту. На практиці дугової металізації швидкість подачі дроту складає 0,05...0,35 м/с, продуктивність розпилення – 2...50 кг/год. Дистанція напилення складає 60...150 мм, швидкість переміщення п'ятна напилення 0,5...0,8 м/с.

Покриття високої якості можливо отримати при використанні джерел постійного струму з жорсткою вольтамперною характеристикою. Використання потужних ЕДН-апаратів дозволяє значно підвищити продуктивність процесу та скоротити витрати часу. Порівнюючи з газополуменевим напиленням при використанні електродугової металізації можливо отримувати більш міцні покриття, у яких більша міцність зчеплення з основою.

В технології електродугової металізації є небезпека перегріву й окислення напилюємого матеріалу при малих швидкостях подачі розпилюємого дроту. Крім того, велика кількість теплоти, що виділяється при горінні дуги, приводе до значного вигорання легуючих елементів, які входять в напилюємий сплав.

5.4.1. Структурна послідовність технологічного процесу. Матеріали та обладнання

5.4.1.1. Для відновлення зношених поверхонь шийок валів в якості електродного матеріалу використовується порошковий дріт ФМІ-2 діаметром 2 мм.

5.4.1.2. Кожна партія дроту повинна супроводжуватись сертифікати якості, де вказано: завод-виготовлювач. марка, діаметр, хімічний склад дроту та дата виготовлення.

5.4.1.3. Перед використанням дріт необхідно просушувати в муфельній печі.

Дріт повинен зберігатися і транспортуватися в умовах, що запобігають порушенню цілісності упакування і захищають його від корозії та механічних пошкоджень.

5.4.1.4. Для виконання робіт по дробоструменевої обробці зношених поверхонь валів та нанесення ЕДН-покрить використовується комплект спеціального обладнання. До складу комплекта технологічного обладнання входять:

- установка дробоструменевої обробки УСАО;
- установка активованої електродугового напилення АДН-10;
- джерело живлення ВДУ-506, ТУ 16-739.303-82.

5.4.1.5. Установка дробоструменевої обробки призначена для проведення робіт з попередньої очистки шийок розподільчих валів.

5.4.1.6. Установка активованого електродугового напилення призначена для нанесення ЕДН-покрить на попередньо підготовлені шийки розподільчих валів.

5.4.1.7. Дробоструменевий ежекторний пістолет призначений для дробоструменевої обробки відновлюваних поверхонь і входить в комплект установки дробоструменевої обробки разом із шлангами і спеціальним сапуном для засмокування дроби із збірника камери.

5.3.1.8. Для живлення ЕДН-апарата постійним струмом використовують випрямляч зварювальний типу ВДУ-506. Замість випрямляча ВДУ-506 може бути використане аналогічне джерело живлення з жорсткою вольтамперною характеристикою.

5.4.1.9. Для очищення стисненого повітря від твердих частин, води і мінерального мастила застосовано фільтр 23-25-4-УХЛ4. При відсутності вказаного фільтра можна застосовувати інший - з продуктивністю 120-180 м³/ год.

5.4.2. Підготовчі роботи

5.4.2.1. Порошковий дріт перед використанням потрібно просушити.

Режим висушування: нагрів до 150 °С з швидкістю 50-100 °С/ год., витримка 2 години, охолодження - на повітрі. При дотриманні режиму сушки поверхня дроту набуває солом'яного кольору.

5.4.2.2. Бухти дроту масою 3-5 кг укласти у касети (при їх наявності) або в пристрій, що їх заміняє. Завести кінці дроту в ЕДН-апарат.

5.4.2.3. Встановити відновлюваний розподільний вал на приймальний стіл для очищення.

5.4.2.4. Очистити відновлювану деталь від бруду за допомогою шабера типу 1 ТУ 34-І, -42/10553-83 і щітки металеві ГОСТ 17.830-80.

5.4.2.5. Протерти відновлювану деталь кінцями обтиральними ТУ 63-178,101-86, змоченими в миючому розчині МС-15 ТУ 6-18-4-81 для очищення від мастила.

5.4.2.6. Для визначення величини зносу поверхні виміряти діаметри деталей в зонах, які підлягають напиленню, за допомогою штангенциркуля ЩЦ II-250-0,05 ГОСТ 166-89.

5.4.2.7. Провести контроль відновлюваної деталі зовнішнім оглядом при допомозі лупи ЛИ-3-КУ ГОСТ 25706-83. Тріщини і раковини, які не усуваються при попередньому шліфуванні, не допускаються.

5.4.2.8. На спеціальному круглошліфувальному верстаті провести попереднє шліфування шийок, які підлягають реставрації, згідно документації на даний розподільчий вал. Заниження вказаного розміру становить 0,5 мм. на діаметр.

5.4.2.9. Після попереднього шліфування розподільчого валу, необхідно провести поверхневий огляд прошліфованих шийок за допомогою лупи. При наявності тріщин вал відбраковується.

5.4.3. Технологічна частина

5.4.3.1. Процес відновлення валів нагнітача включає такі операції:

- дробеструменева обробка шийок;
- контроль поверхні шийок після дробеструменевої обробки;

- напилення шийок;
- контроль напилених шийок;
- остаточне шліфування шийок;
- контроль відновлених шийок вала;
- консервацію вала для зберігання,

5.4.3.2. Перед дробеструминною обробкою валу необхідно заглушити отвори масляних каналів. Для цього використовують дерев'яні або гумові заглушки конічної форми, які забивають в отвори так, щоб вони виступали, над поверхнею шийки на 1,0-1,5 мм.

5.4.3.3. Підготовлений для дробеструменевої обробки вал перемістити до дробоструменевої камери: включити освітлення камери. відкрити кришку камери і закріпити вал на обертовому пристрої; закрити кришку камери і підвести дробоструменевий пістолет до валу; включити витяжну вентиляцію; включити подачу стисненого повітря; зачистити поверхню шийок валу, відключаючи подачу стисненого повітря при переміщенні дробоструменевого пістолету від однієї шийки до другої; режим дробоструменевої обробки: тиск стисненого повітря, МПа 0,5 - 0,6; відстань між соплом і відновлюваною поверхнею, мм 80; вимкнути подачу стисненого повітря; провести контроль підготовленої під напилення поверхні (зовнішнім оглядом). Сліди мастила, волога і бруду - не допускаються. Поверхні повинна бути світло-сірого кольору без пропусків обробки. Вимкнути освітлення камери.

5.4.3.4. Відкрити кришку камери і зняти колінчастий вал з обертового пристрою.

5.4.3.5. Не пізніше, ніж через 2 години після дробоструменевої обробки, підготовлений до напилення вал перемістити до ЕДН-апарата і закріпити в обертовому пристрої.

5.4.3.6. Поверхні колінчастого вала, на які не буде наноситися покриття, покрити захисною мильно-графітною пастою. Пасту нанести пензлем. Підвести ЕДН-апарат до шийки, що підлягає відновленню і виставити його.

5.4.3.7. Основні параметри робочого режиму ЕДН-апарата:

■ напруга, В	27-32
■ відстань від сопла до напилюємої поверхні, мм	160-180
■ швидкість поздовжнього переміщення ЕДН-апарата, мм/хв	200
■ частота обертання вала, об/хв,	60
■ тиск стисненого повітря, МПа	0,3 - 0,4
■ тиск пропана, МПа	0,27-0,37

5.4.3.8. Порядок нанесення ЕДН-покриття (напилення):

- включити обертач з закріпленим валом;
- включити ЕДН-апарат згідно паспорту;
- напилити послідовно поверхні шийок вала. Товщина напиленого шару за один прохід повинна складати 0,1 - 0,25 мм. При більшій товщині напиленого шару можливі перегріву та відшарування покриття.

5.4.2.9. Після напилення трьох шарів покриття провести контроль товщини шару вимірами в трьох перерізах, виконавши по три виміри діаметрів у кожному перерізі.

5.4.3.10. Нанести покриття на всі шийки. Загальна товщина напиленого шару вибирається в залежності від величини зносу відновлюваної поверхні шийки, але не менше 0,5 мм і не більше 4,0 мм на сторону.

5.4.3.11. Припуск напиленого шару на механічну обробку складає від 1 до 2 мм., в залежності від товщини покриття.

5.4.3.12. Вимкнути обертач з закріпленим розподільчим валом.

5.4.3.13 Провести контроль напиленої поверхні зовнішній оглядом а застосуванням лупи ЛИ-3-10 ГОСТ 25706-13. Перевірити діаметр напилених поверхонь шийок штангенциркулем ШЦ-II-250 - 0,05 ГОСТ 166-89 на відповідність оптимальному розміру. Тріщини, відшарування - не допускаються. Метал покриття повинен мати світло-сірий колір без смуг мінливості і яскраво виражених плям.

Прокатати порошоків шар роликівими електродами на наступних режимах: прокатка порошкового шару з одночасним пропусканням електричного струму роликівими електродами. Режими: струм – 16...20 кА, регулювання – по закону $I=I_0 \exp(-0.004t)$, $\Delta P = 0,55...0,6$ МН/м, $V = 0,01...0,016$ м/с, $t_u = t_n = 0.04$ с. Повернення роликів у вихідне положення. Повторна гаряче обкатування.

5.4.3.14. Знята вал з обертача і передати його для заключного шліфування на спеціальний шліфувальний верстат.

5.4.3.15. Перед шліфуванням вибити дерев'яні (гумові) заглушки, а отвори, для запобігання сколювання покриття, зенкувати, використовуючи твердосплавну зенківку. Під час зенкування слідкувати, щоб не було сколювання покриття на краях отвору.

5.4.3.16. Отвори продути стисненим повітрям.

5.4.3.17. Режими шліфування :

- глибина шліфування (чорнова), мм 0,1 - 0,5
- глибина шліфування (чистова), мм 0,01-0,03
- при шліфуванні застосовувати емульсол (Амінол, МХО- 101, ПВК).

Прошліфувати всі шийки вала до номінальних розмірів. Шорткість оброблюваної поверхні після шліфування повинна бути не більшою Ra 0,63.

Перевірити даметри шийок за допомогою мікрометра МК 75-100 ГОСТ 43810-87 на відповідність номінальних розмірів.

5. 4.4. Технічний контроль

4.1. В процесі відновлення деталей необхідно проводити поопераційний контроль якості підготовки деталей до дробострумєвої обробки, самої струмєної обробки, напилення і остаточної механічної обробки. Контроль якості ведуть в 100% обсязі.

4.2. Основні дефект, виявлені зовнішнім оглядом, причини їх виникнення і способи усунення, приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. - Причини виникнення дефектів ЕДН-покриття

Дефект	Причина виникнення	Спосіб запобігання
Покриття крупнозернисте і пористе	Невірно встановлені тиск повітря та тиск пропану	Встановити тиск повітря і пропану згідно інструкції для забезпечення нормального витоку високошвидкісної струї
Відшарування покриття	Знижена відстань між соплом металізатора і поверхнею напилення. Неякісна підготовка поверхні. Низька частота обертання валу.	Встановити відстань між соплом металізатора і поверхнею напилення згідно інструкції. Повторити підготовку поверхні. Встановити необхідну частоту обертання.
Тріщини в покритті	Товщина покриття більш ніж допустима. Порушені параметри режиму напилення.	Товщина покриття не повинна перевищувати 4 мм. Відкоректувати параметри режиму напилення.
Перегрів частковий перепал металу	Знижена відстань між соплом металізатора і поверхнею напилення. Мала швидкість переміщення головки металізатора. Завишені електричні параметри режиму напилення.	Встановити відстань між соплом металізатора і поверхнею напилення згідно інструкції. Встановити необхідну швидкість переміщення головки. Відкорегувати режими напилення.

6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

При електродуговому напиленні (ЕДН) і подальшій електроконтактній обробці (ЕКО) на працівника має вплив ряд шкідливих та виробничих факторів різної природи.

Мета розділу – забезпечення сприятливих умов праці при ЕДН та ЕКТ валу ротора нагнітача. Для забезпечення сприятливих умов праці проаналізуємо:

- Навколишнє середовище на рівень несприятливості, через порушення утилізації відходів;
- небезпечні фактори, під час виконання даного виду роботи;
- Умови праці робітника.

Беручи до уваги вище перераховані фактори набуває особливої ролі охорона праці як система, яка спрямовує свої зусилля для забезпечення достатнього рівня безпеки праці та виробничого середовища.

6.1 Аналіз умов праці

За походженнями та природою впливу на організм людини ШНВФ поділяють на: фізичні, хімічні, психофізіологічні, біологічні та соціальні.

Фізичні:

- Створюють небезпеку механічного травмування, опіків, обморожування;

Віброакустичні: шум, вібрація, ультразвук та інфразвук;

- Електричні: статична, підвищений рівні напруги, КЗ через людину;
- Видиме, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання;
- Світлові: недостатнє освітлення, підвищена яскравість тощо.

До хімічних, шкідливі хім. речовини у різних агрегатних станах, які здатні потрапляти в організм і розчиняються у біологічних рідинках.

До психофізіологічних входять: фізичні перевантаження і нервово-психічні .

Процес ЕДН характеризується наявністю ШНВФ:

- шкідливі речовини – вище гранично допустимого рівня ГДК;
- випромінювання в оптичному діапазоні;
- ультрафіолетове – вище ГДР;
- видиме – вище ГДР;
- інфрачервоне – помірний ДР;
- шум – вище ГДР;
- ультразвук – вище ГДР;
- електричний струм;
- іскри, бризки і викиди розплавленого металу;
- механізми і вироби що рухаються;
- системи, які знаходяться під тиском, що перевищує атмосферний.

6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

З аналізу впливає ШНВФ, зменшення можливе цих небезпечних факторів на організм людини реалізують: пристроями, установками, захисним одягом та електронними системами.

6.2.1 Захист від шкідливих речовин

Рівень шкідливого та небезпечного фактору напилювального процесу, в першу чергу, визначається способом напилювання, видом і складом матеріалу, що напилюється. Характер розвитку і тяжкість протікання, залежать від їх концентрації в зоні дихання.

Ми використовуємо для ЕДН дроти які не мають покриття, але процес розплавлення дротів у процесі напилення дуже схожий зі зварюванням.

Частково виділяються з електродів у процесі плавлення ЗА такі як: Fe, Mn, Si, та газу – CO, NO_x, CO₂, H₂.

Ефективним способом захисту є загальна вентиляція, якщо цього буде не достатньо або економічно не вигідно можна використовувати місцеву вентиляцію. Для місцевої вентиляції використовують пересувні фільтровентиляційні агрегати, або місцеву витяжну вентиляцію типу панелі рівномірного відсмоктування (рис. 6.1.б), яка встановлюється над робочим місцем працівника чи над місцем напилання виробу.

При використанні ЕДН присутні горизонтальні потоки газів, це пояснюється тим, що стиснене повітря яке розпилує матеріал перпендикулярно до площі деталі, але паралельно до землі. У зв'язку з цим доцільно використовувати панель рівномірного відсмоктування.

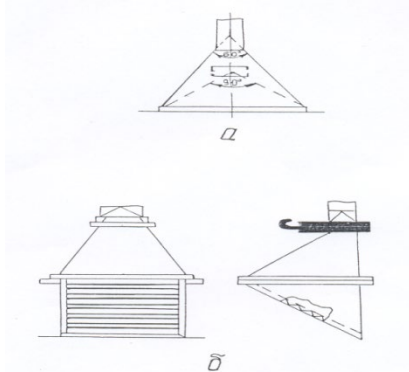


Рисунок 6.1. - Основні конструкції місцевої витяжної вентиляції: а – зонт; б – панель рівномірного відсмоктування.

6.2.2 Захист від шкідливого випромінювання

Висока температура напилувального потоку та використання джерел нагрівання металу призвели до зміни інтенсивності і спектрального складу випромінювання, що має вплив на обслуговуючий персонал. Потужність потоків випромінювання таких теплових джерел в десятки разів перевищують інтенсивність природного випромінювання сонця. В їх спектрі випромінювання крім інфрачервоного (ІЧ) представлено видиме і ультрафіолетове (УФ) – усі частини спектру оптичного діапазону

електромагнітних випромінювань. УФ випромінювання характеризується не тільки наявністю благотворних частин спектру, таких як довгохвильове (УФ-А) і середньохвильове (УФ-В), але й найбільш агресивною його частиною – короткохвильовим випромінюванням (УФ-С). Таким чином, спектр електродугових джерел значно відрізняється від природного.

Допустима інтенсивність УФ опромінення встановлюється з урахуванням спектрального складу стосовно до одягненої людини при обов'язковому захисті очей та відкритої поверхні тіла не більш $0,3 \text{ м}^2$ і повинна складати не більше $11,0 \text{ Вт/м}^2$ для діапазону УФ-А, $0,02 \text{ Вт/м}^2$ – для УФ-В, $0,002 \text{ Вт/м}^2$ – для УФ-С. Засобами обов'язкового індивідуального захисту зварників від оптичного випромінювання під час дугового зварювання відкритою дугою є:

- Окуляри та респіратори для захисту обличчя;
- спеціальний одяг який не тільки буде захищати від бризок але й закривати тіло від дії ОВ;
- зниження інтенсивності випромінювання;
- лікувально-профілактичні заходи.

В залежності від виду зварювання та сили струму підбирають необхідний клас світлофільтра. У даному випадку так як відновлювальні роботи ЄДМ проводяться на режимах з силою струму у діапазоні $277 - 360 \text{ А}$, підбираємо за даними з таблиці світлофільтри С – 6, або С – 7.

6.2.3 Захист від надмірного шуму

Рівень звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях виробничих приміщень і на території підприємств наведено в таблиці 6.1. Для встановлення вентиляції, кондиціонування повітря і повітряного опалення допустимі рівні повинні бути на 6 дБ менше рівнів, вказаних в таблиці 6.1 .

Допустимі рівні шуму повинні відповідати ДСН 3.3.6.037-99, а загальної і місцевої вібрації – ДСН 3.3.6.037-99. З метою запобігання передачі шуму від

шумних робочих місць до порівняно тихих, між ними встановлюють акустичні екрани висотою до 4-6 м, обладнанні з двох боків матеріалом, що поглинає звук: надтонким склом або базальтовим волокном, а з зовнішньої сторони ще закриті перфорованим металічним листом.

Таблиця 6.1. - Допустимі рівні шуму

Рівні звукового тиску, дБ в октавних смугах середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку дБЛ
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Стіни установок для ЕДН покриті облицювальним матеріалом з звукопоглинанням з коефіцієнтом поглинання звуку не меншим 0,8. На обладнання, що гучно шумить, встановлюють, якщо це можливо за умовами його експлуатації, спеціальні звукоізолюючі кожухи.

6.2.4 Захист від ураження струмом

Виробничі приміщення з точки зору ураження електричним струмом належать до категорії особливо шкідливих. Експлуатація зовнішніх електроустановок прирівнюється до умов експлуатації в особливо небезпечних приміщеннях. Електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01.

Для запобігання ураження працівника електричним струмом забезпечено:

- усе обладнання яке працює під напругою заземлено;
- на усіх агрегатах є попереджуючі знаки відповідного кольору;

- обмежена напруга холостого ходу відповідно до умов праці і виду робіт пов'язаних з використанням електричних установок та агрегатів до 42В;
- вологість у приміщенні не більше 60%;
- спец одяг працівника та робоче місце (підлога, приміщення) сухі;
- працівник має інвентар захищаючий його від непередбачуваних ситуацій, а саме – чоботи з великою гумовою підошвою, резинові рукавиці (для виконання робіт пов'язаних з обладнанням)

6.2.5. Захист від продуктів напilenня в процесі роботи

Використання спеціального одягу – найважливіша умов забезпечення безпеки праці, профілактики травматизму та професійного захворювання. Для захисту від випромінювання, бризок розплавленого металу, механічних пошкоджень, переохолодження при роботі на відкритому повітрі в холодний період року зварники використовують спеціальний одяг (костюми, халати, фартухи), рукавиці та інші засоби індивідуального захисту.

Спецодяг вибирається в залежності від способу зварювання і умов праці у відповідності з НПАОП 28.5-1.02-07.

Спецодяг повинен бути зроблений з вогнестійких матеріалів. Верхня частина одягу повинна перекривати штани, або застібатися з нижньою частиною одягу – це потрібно для запобігання потрапляння бризок під одяг. Рукавиці повинні перекривати рукава для запобігання потрапляння бризок під спецодяг. Для захисту рук у відповідності з НПАОП 28.5-1.02-07 слід застосовувати прості рукавиці, рукавиці з крагами.

6.2.6. Способи захисту від рухомих частин пристроїв

Для запобігання ураження працівника механічним фактором таким як затягування у рухомі частини пристроїв виконано такі заходи: забезпечено наявність відповідних знаків біля місць або станків рухомими частинами; забезпечено огороження робочих місць або станків від потрапляння

торонніх осіб; встановити світлові датчики, які будуть вимикати рухомі частини та станки при потраплянні сторонніх предметів та осіб у небезпечну зону.

6.3. Вентиляція

Для видалення аерозолів і газів, що утворюються при ЕДН в виробничих приміщеннях, застосовується місцева, загально обмінна і комбінована механічна вентиляція згідно з ДСТУ 2456-94. У даному випадку ми використовуємо місцеву вентиляцію типу панелі рівномірного відсмоктування (дивитися рисунок 6.1б), це пояснюється тим що при напиленні матеріалу на виріб ми маємо горизонтальні потоки повітря. Вентиляція буде встановлена над обтирачем в якому буде встановлена наша деталь (розподільний вал). Таким чином всі шкідливі речовини, які видуваються потоком кисню разом з розплавленим електродним матеріалом і прямують в напрямок виробу, потраплять під дію вентиляції.

Основною необхідною умовою забезпечення ефективного уловлювання цих шкідливих частинок місцевим витяжним пристроєм з відстані 25...50 см є те, що витрата повітря, яке проходить через повітряно-приймальну ліжку діаметром, як правило, 125 – 160 мм.

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m , визначаємо, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огороджують зону всмоктування розраховуємо за формулою (6.3.1):

$$L_m = 3600 F_0 V_0, \quad (6.3.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м²;
 V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, м/с.

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою. Значення V_0 знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні зварювання або різання на відстані X (м) від центра отвору.

Швидкість руху повітря, що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, повинна бути при зварюванні у вуглекислому газі дротом суцільного перерізу і порошковим – не більше 0,5 м/с.

Для витяжних пристроїв з гострими краями найпростішої форми швидкість всмоктування повітря розраховується за формулою (6.3.2):

для округлих та квадратних отворів без екрана

$$V_0 = 16 V_x (X/d)^2, \quad (6.3.2)$$

де d - діаметр отвору, який умовно може дорівнювати значенню квадрату швидкості, м;

Виходячи з умов та рекомендацій, а також конструкції нашої місцевої системи вентиляції маємо, що $X = 0,5$ м, $d = 1$ м, $V_x = 0,5$ м/с.

Розрахуємо об'єм повітря який потрібно видалити місцевою вентиляцією.

$$V_0 = 16 \cdot 0,5 \cdot (0,5/1)^2 = 2 \text{ м/с}$$

Прийmemo для розрахунку виходячи з габаритів виробу який відновлюється, що F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача дорівнює приблизно 1 м^2 (витяжне вікно вентиляції використовується з розмірами $1 \times 0,8$ м).

$$L_m = 3600 \cdot 1 \cdot 1 = 3600 \text{ м}^3/\text{Год}$$

З рішення встановлюємо що необхідний об'єм повітря що відсмоктується повинен дорівнювати $3600 \text{ м}^3/\text{Год}$.

6.4. Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту

Працівники, які виконують роботи з ЕДН, повинні забезпечуватись засобами індивідуального захисту згідно з нормами, в залежності від характеру дії НШВФ та відповідних вимог ДСТУ 7239:2011. Виріб та призначення засобів індивідуального захисту органів дихання повинні провадитися згідно з вимогами ДСТУ EN 133:2005. Під час наплення відкритою дугою для захисту очей та обличчя робітника від випромінювання, та іскор слід застосовувати маски згідно з ДСТУ EN 175-2001 зі світлофільтрами за ДСТУ EN 169-2001. Для захисту рук необхідно застосовувати рукавиці згідно з ДСТУ EN 420-2017. Для зниження небезпеки ураження електричним струмом працюючі повинні забезпечуватися спеціальними килимками, а також в умовах підвищеної небезпеки – калошами, рукавицями згідно нормативно-технічної документації.

6.5. Захист від теплового випромінювання

Інтенсивність теплового випромінювання в оптичному діапазоні (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне) на постійних робочих місцях не повинна перевищувати допустимих величин, наведених у таблиці 6.5.1. Захист працівників від інфрачервоного випромінювання забезпечується скороченням впливу джерел теплового випромінювання відповідно до даних таблиці 6.5.2 .

Таблиця 6.2. - Допустима інтенсивність теплового випромінювання в оптичному діапазоні

Зона спектра	Довжина хвилі, мкм	Допустима *інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²	Зона спектра	Довжина хвилі, мкм	Допустима інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²
Ультрафіолетова	0,22 – 0,28	0,001	Інфрачервона	0,76 – 1,4	100
				1,4 – 3	120
	3 – 5	150			
	5	120			
	0,28 – 0,32	0,05			
	0,32 – 0,4	10			

Допустима інтегральна інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати 350 Вт/м²

Таблиця 6.3. - Інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м²

Максимальна довготривалість випромінювання, хв	350	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800
Одноразова сумарна протягом години	20	15	12	9	7	5	3,5	2,5
	45		30			15		

6.6. Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); розрив або зруйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки. З метою запобігання виникненню та ліквідації НС на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення. Під час аналізу небезпеки підприємства визначаємо всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій виконувати на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухопожежонебезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві. При цьому слід враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан тощо) і стан обладнання, які відповідають як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі при настанні й розвитку аварії.

6.6.1 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 приміщення, у яких виконуються напилювальні роботи, за вимогами вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива). Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється зона II-Па, де обертаються тверді горючі речовини. Група вибухобезпечних сумішей (за температурою самозапалювання) – ТІ (ТС) В > 450 °С. Ступінь вогнестійкості будівлі – І (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 год, максимально допустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін – 25 см.

Клас пожежі – Е пов'язаний з аваріями електроустановок передбачає використання вогнегасних засобів таких як вуглеводородних та порошкових.

Пожежна безпека забезпечується:

- Запобіганням спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- Запобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;
- Застосування пожежної сигналізації з датчиком (ИДФ-І, ДПД і др.);
- Використанням вогнегасників для класу пожежі Е вогнегасники типу УО, ОП – 10А.
- При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки.

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втручання горючих газів із апаратури. Рекомендована

періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилю, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежонебезпечні технічні миючі засоби. Передбачено пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі (описати конкретно). Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та проти димного захисту. Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухобезпечності.

На дільницях виробничого приміщення, де застосовується напилення, передбачаємо встановлення протипожежних щитів, укомплектованих вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється. Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал. Для автоматичного виявлення пожеж в виробничому приміщенні, в якому виконується зварювання, передбачаємо наявність датчиків, які своєчасно сповіщають про виниклу пожежу і дають команду на вмикання автоматичної системи гасіння пожеж.

6.6.2. Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях.

У випадку пробією електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці. У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому штучне дихання. У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника. Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний: – негайно

сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101; – приступити до гасіння вогню пожежі

наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо); – викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

Загальні висновки

На підставі проведенного огляду літератури та патентно-інформаційних досліджень можна зробити наступні висновки:

- основною перевагою метода електродугового напилення є його висока продуктивність, яка досягає 50 кг/год, максимальне значення енергетичних ККД розпилення і напилення;

- основним недоліком електродугових покриттів є відносно низька щільність (60-70 %), та міцність зчеплення (40-45 МПа), що негативно впливає на якість покриттів і їх експлуатаційні властивості.

Обґрунтовано, що підвищити властивості ЕДН-покриттів можливо за рахунок удосконалення технології ЕДН шляхом підготовки поверхні під напилення, вибору складу матеріалу покриття і несучого середовища, за рахунок конструктивних параметрів ЕДН-апаратів, активуванням процесу ЕДН, керування параметрами ЕДН та гранулометричним складом часток, що розпилюються.

Дослідження, розглянуті в розділі дозволили відмітити основні переваги ЕДН з закритою схемою формування металоповітряного потоку - дуга горить у каналі, діаметр якого співрозмірний з поперечним перерізом дуги, а стінки каналу захищені від напилення краплин розплавленого металу пристіночними повітряними потоками. Це дозволяє одержувати краплини, максимальний діаметр яких не перевищує 50 мкм;

Недоліки ЕДН-покриття низька міцність зчеплення 30 - 45 МПа і висока пористість 25 - 30 %.

Застосування електроконтактної обробки ЕДН-покриттів дозволило підвищити їх міцність зчеплення в 4 - 5 разів, а щільність в 1,5 - 2 рази. Електроконтактна обробка ЕДН-покриттів забезпечує практично безпористі покриття 95 % з міцністю зчеплення 180 - 200 МПа.

Підвищення властивостей ЕДН-покриттів ЕКО визначається ефективністю дії двох складових: термічною і механічною. Термічний чинник обумовлює

інтенсивний нагрів матеріалу покриття до температури плавлення основної складової матеріалу покриття і створює сприятливі умови для протікання дифузійних процесів. Механічний чинник визначає формування зміцнених структур.

Визначені коефіцієнти дифузії (масопереносу) при механічному навантаженні і пропусканні імпульсів електричного струму. Їх значення на 10-11 порядків вищі, ніж при відпалі і напиленні.

Результати досліджень показали, що за час дії синхронізованих імпульсів струму і тиску, в результаті реалізації електропластичного ефекту (ефекту Троїцького) відбувається високошвидкісна пластична деформація, внаслідок чого виникає розвинена дифузійна зона між покриттям і металом основи.

Методами кількісного стереологічного аналізу, скануючої електронної мікроскопії і мікрорентгеноспектрального аналізу показано, що висока міцність зчеплення покриттів при ЕКО напилених покриттів із поверхнею деталі, яка зміцнюється, забезпечується за рахунок явища аномального масопереносу. Збільшення адгезії пов'язано з явищем прискореної міграції атомів при електропластичному ефекті за рахунок утворення значного дифузійної прошарку.

Практичне використання електроконтактної обробки для підвищення функціональних властивостей ГТН-покриттів було застосовано при відновленні і зміцненні вала ротора нагнітача компресорної установки

Перелік джерел посилання

1. Покрyтия и их использование в технике. В кн. «Прочность материалов и конструкций», под ред. В.Т. Трошенко – 2-е изд. – К.: Академперіодика, 2006. – С. 981–1074.
2. Корж В.Н. Комбинированные методы инженерии поверхности. / В.Н. Корж, Т.В. Ворона, А.В. Лопата // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: Матер. 4-ї міждун. наук.-практ. конф., 19-21 травня 2014, Чернігів: ЧНТУ, 2014. – С. 159-163.
3. Lopata Larisa A. Tribological coatings selection and development / Larisa A. Lopata, Yuri V. Brusilo // Науковий журнал «Вісник Національного авіаційного університету» - №3 (44) - Київ 2010 - С. 89-96.
4. Ляшенко Б.А. Підвищення міцності та довговічності деталей машин агропромислового комплексу багатofункціональними покриттями / Б.А. Ляшенко, Є.К. Солових, Л.А. Лопата, В.Є. Марчук // Доп. сесії Наукової ради з проблеми «Механіка деформівного твердого тіла» НАН України, 15–16 жовт. 2008, Полтава. – С. 15-31.
5. Луканин В. Л. Многофункциональные композиционные покрытия нового типа. Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика. / В.Л. Луканин, Е.В. Удалова, В.Н. Куликов // Материалы 14 Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 17-20 апр., 2012. Ч. 2. СПб. 2012. – С. 225-230.
7. Дудан А.В. Применение гибридных технологий для реновации и повышения ресурса судовых машин и механизмов / А.В. Дудан, Т.В. Ворона, М.С. Агеев, Б.А. Ляшенко // Вестник Брестского государственного технического университета. Научно-теоретический журнал Машиностроение./Вип. №4(94)/ – Брест: БГТУ, 2015. – С. 18-22.
8. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей машин с помощью новых износостойких материалов/М.И. Черновол – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1990. – 64 с.

9. Черновол М.И. Современные материалы для восстановления и упрочнения деталей машин: учебное пособие / Черновол М.И., Златопольский Ф.И., Лопата Л.А. – Кировоград: КИСМ, 1994. – 83 с.

10. Зоткин В.Е. Научные основы выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении: Учеб. Пособие / Зоткин В.Е. для студ. вузов. 2-е доп., перераб. изд. – М.: МГОУ-3 ЦНИИ МО РФ; М.: Вооружение. Политика. Конверсия. 1999. – 282 с.

11. Марукович Е.И. Износостойкие сплавы. Е.И. Марукович, М.И. Карпенко - М.: Машиностроение. 2005. – 429 с.

12. Лебедева Н.В. Высокопрочные и специальные стали и сплавы: Конспекты лекций. Н.В. Лебедева, Ю.П. Солнцев - СПб: СПбМТУ. 2004, 221с.

13. Сталь: Пат. 1354739 Россия, МПК С 22 С 38/14 (2006.01). ОАО НПО ЦНИИ технол. машиностр. / Дегтярев А.Ф., Егорова М.А. - № 2007122188/02; заявл. 13.06.2007; опубл. 10.05.2009.

14. Игнатенко Т. Сталь с покрытиями: новые звезды. Металлоснабж. и сбыт. 2012, N 1, с. 24-26, 28. 50. Классификация и маркировка сталей: Учебное пособие / Т. Игнатенко, Л.Г. Петрова, Л.Г. Гладова, О.В. Чудина, И.С. Белашова // - М.: МАДИ (ГТУ). 2005, 47 с.

15. Баженов В.К. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Краткий курс лекций: Учебное пособие. / В.К. Баженов, Р.Н. Чепелев, Т.И. Милых // - М.: РГОТУПС. 2006, 48 с.

16. Лахтин Ю. М. Материаловедение: Учебник для ВТУЗов – 3-е изд. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева // перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990 – 528 с.

17. Черновол М.И. Изготовление деталей сельскохозяйственной техники с покрытиями из сталей ферритного и мартенситного классов повышенной износостойкости / М.И. Черновол, Т.В. Ворона, А.В. Лопата // Материалы 16-й Международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация,

контроль: теория и практика» (КСК-16), 20-23 сентября 2016 г., г. Одесса - Киев: АТМ Украины. – Киев 2016. – С. 141-147.

18. Формирование газотермических покрытий: теория и практика. [Ильющенко А. Ф., Оковитый В.А, Кундас С.П., Форманек Б.] – Мн., 2002.

19. Борисов Ю.С. Современные тенденции в развитии газотермического напыления покрытий / Ю.С. Борисов // Пленки и покрытия '98: Труды 5-й междуна. конф., СПб., 23-25 сен. 1998 г. – СПб., 1998. – С. 14-19.

20. Вигилянская Н. В. Газотермическое напыление псевдосплавных покрытий. Автомат. сварка / Н. В. Вигилянская, Ю. С. Борисов, И. А. Демьянов //2012, N 1, С. 48-55.

21. Мчедлов С.Г. Газотермические покрытия в технологии упрочнения и восстановления деталей машин / С.Г. Мчедлов // Свароч. пр-во. – 2007. – № 10. – С. 35-45.

22. Харламов, Ю.А. Газотермическое напыление покрытий и экологичность производства, эксплуатации и ремонта машин / Ю.А. Харламов //Тяжелое машиностроение - 2000. – №2. – С. 3-10.

23. Балдаев Л. Х. Перспективы применения газотермического напыления при ремонте и производстве оборудования в промышленности (ООО «ТСЗП»). / Л. Х. Балдаев // Компрес. техн. и пневмат. – 2004. - №5. – С. 33-34.

24. Термическое распыление. Thermal spraying. Weld. Des. and Fabr. 2003, Apr. – С. 41-42.

25. Гончаров В.С., Гончаров М.В. Гибридная технология газотермических упрочняющих покрытий при восстановлении деталей сложной геометрии/В.С. Гончаров, М.В. Гончаров//Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи, Тольятти. 27-28 нояб., 2009. Ч. 1. Тольятти: ТГУ. 2009. – С. 159-164.

26. Белоцерковский М.А. Получение износостойких покрытий активированным газотермическим напылением с последующим

модифицированием / М.А Белоцерковский, В.А. Кукареко, Р.О. Азизов//Вопр. Материаловед. - 2004, № 2. – С. 77-87, 151, 152.

27. Геращенко Д.А. Наноструктурированные износостойкие покрытия с регулируемой твёрдостью, полученные методом сверхзвукового холодного газодинамического напыления, для решения проблем восстановления и ремонта деталей и механизмов / Д.А. Геращенко, Б.В. Фармаковский, А. Ф Васильев, Р.Ю. Быстров // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: Материалы 10 Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 15-18 апр., 2008. Ч. 1. СПб: СПбГПУ. 2008. – С. 90-96.

28. Калита В. И. Мировые тенденции формирования нано структурных газотермических покрытий. / В. И. Калита, Д. И. Комлев // 4 Международная конференция "Деформация и разрушение материалов и наноматериалов", Москва, 25-28 окт., 2011: Сборник материалов. - М.. 2011. – С. 463-464.

29. Мчедлов С.Г. Газотермическое покрытие в технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Обзор. Ч. 1. Газопламенное и детонационное напыление. / С.Г. Мчедлов // Свароч. пр-во. 2007. - № 10. – С. 35-45, 63.

30. Корж В.Н. Поверхностное упрочнение комбинированными методами нанесения износостойких покрытий / В.Н. Корж, Б.А. Ляшенко, Т.В. Ворона, А.В. Лопата // Материалы 14-й Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», 2-6 июня 2014 г., г. г. Свалява Закарпатская обл. С. 53-55

31. Корж В.Н. Восстановление валов судовых насосов комбинированным методом нанесения покрытий из самофлюсующихся сплавов на основе никеля / В.Н. Корж, Е.Е. Кожевникова, А.В. Лопата // Материалы 15-й Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», 1-4 июня 2015 г., Одесская обл., Затока. С. 80-83

32. Корж В.Н. Повышение эксплуатационных свойств покрытий комбинированными технологиями / В.Н. Корж, Т.В. Ворона, А.В. Лопата //

Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології», 20-22 травня 2015 р., смт. Ворзель, Київська обл.

33. Кожевникова Е.Е. Метод повышения ресурса судовых насосов на основе комбинированной технологии восстановления / Е.Е. Кожевникова, В.Н. Корж, А.В. Лопата // Материалы 15-й Международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика», 5-18 сентября 2015 г., г. Одесса. С. 68-72

34. Смирнов І.В. Перспективи комбінованих технологій формування функціональних покриттів / І.В. Смірнов, А.В. Лопата // Матеріали VI всеукраїнської науково-технічної конференції "Інженерія поверхні. Комплексний підхід" 11 грудня 2018 р. С. 15-18

35. Агеев М.А. Оценка влияния параметров процесса газотермического напыления покрытий на их свойства путем использования методов математического планирования / М.А. Агеев, Т.В. Вигерина, А.В. Лопата // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиноведение и машиностроение, №3, 2017 г., ПГУ, г. Новополоцк, Беларусь. С. 35-40.

36. Черновол М.И. Изготовление деталей сельскохозяйственной техники с покрытиями из сталей ферритного и мартенситного классов повышенной износостойкости / М.И. Черновол, Т.В. Ворона, А.В. Лопата // Материалы 16-й Международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» (КСК-16), 20-23 сентября 2016 г., г. Одесса - Киев: АТМ України. – Киев 2016. – С. 141-147.

37. Лопата В.Н. Переход от гальванической технологии к газотермическим технологиям при получении антикоррозионных покрытий / В.Н. Лопата, В.Я. Николайчук, А.В. Лопата // 18-й Международный научно-технический семинар «Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», 10–17 февраля 2018 г., г. Брно, Чехия, АТМ України. С. 245-249.

38. Смірнов І.В Особливості зміцнення поверхневих шарів деталей транспортних засобів іонним азотуванням / І.В. Смірнов, А.В. Лопата, А.В./ Рудковський / Матеріали V1 всеукраїнської науково-технічної конференції "Інженерія поверхні. Комплексний підхід" 11 грудня 2018 р. С. 18-22

39. Смирнов И.В. Повышение функциональных свойств газотермических покрытий электроконтактной обработкой/ И.В. Смирнов, А.В. Лопата // Материалы 19-й Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» (M19-2), 20-24 мая 2019 г. Свалява, Закарпатская обл.

40. Smirnov I.V. Upgrading of quality of gas-thermocoverage's / I.V. Smirnov, O.V. Lopata // 19-й Международный научно-технический семинар «Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», 10–17 февраля 2019 г., Словакия

41. Смирнов И.В. Повышение функциональных свойств газотермических покрытий электроконтактной обработкой / И.В. Смирнов, А.В. Черный, А.В. Лопата // Материали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем 14 - 16 травня 2019 р. м. Чернігів, С. 73-75.

42. Ляшенко Б.А. Роль теорий адгезии в формировании упрочняющих покрытий/ Б.А. Ляшенко, М.А. Агеев, А.В. Лопата // Материалы 18-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» 4-8 июня 2018, Свалява-Киев. С.6-10

43. Дудан. А.В. Восстановление и упрочнение распределительных валов двигателей / А.В. Дудан, В.Н. Лопата. Ю.В. Волков, А.В. Лопата // Международная научно-техническая конференция «Иновационные технологии в машиностроении» («ИННТЕХМАШ - 18»), 19-20 апреля 2018 г. ПГУ, г. Новополоцк, Беларусь.

44. Соловых Е.К. Ресурсо-энергосберегающая технология восстановления и упрочнения шестерен электроконтактным навариванием износостойких

композиционных порошковых материалов / Е.К. Соловых, С.Е. Катеринич, А.В. Лопата // Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 105-107.

45. Ляшенко Б.А. Спосіб розмірної обробки деталі з газотермічним надтвердим покриттям / Б.А. Ляшенко, С.А. Кліменко, А.В. Лопата // Патент на корисну модель №100567, Бюл. №14 від 27.07.2015 р.

46. Витязь П.А. Теория и практика газопламенного напыления / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло [и др.] – Минск: Наука і тэхніка, 1993. – 295 с.

47. Данилов Л.И. Использование газопламенного напыления при ремонте и упрочнении быстроизнашивающихся поверхностей деталей / Л.И. Данилов, В.А. Неуймин, Е.Н. Тарасенко // Цв. металлургия. – 1993, № 6-7. – С. 17-18.

48. Петров С.В. Газопламенное сверхзвуковое напыление. / С.В. Петров // Сварщик. 2005, № 1. – С. 14-15.

49. Витязь П. А. Теоретические предпосылки активирования процесса газопламенного напыления спутными потоками. / П. А. Витязь, М. А. Белоцерковский // Порош. металлургия (Беларусь). 2010, № 33. – С. 232-241.

50. Белоцерковский М.А. Технологии активированного газопламенного напыления антифрикционных покрытий. / М.А. Белоцерковский // Мн.: Технопринт. – 2004. – 200 с.

51. Белоцерковский М.А. Активированное газопламенное распыление проволочных материалов / М.А. Белоцерковский // Весці НАН Б сер. фіз. - тэхн. навук, 2002. – №1. – С. 11-15.

52. Бороненков В. Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности. / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов // Екатеринбург: УрГУ; Екатеринбург: Унив. изд-во. 2012, 267 с.

53. Коробов Ю. С. Механизм электродугового упрочнения низко- и среднеуглеродистых сталей. / Ю. С. Коробов, М. А. Филиппов, В. И. Шумяков,

И.А. Ковган, С.В. Небезин // 4 Конгресс нефтегазопромышленников России, Уфа, 20-23 мая, 2003: Материалы конгресса. Уфа: Мир печати, 2003. – С. 105.

54. Литовченко Н.Н. Восстановление дисков сцепления, тормозных барабанов, дисков и шкивов электродуговой металлизацией. / Н.Н. Литовченко, Г.Г. Раджабов, И.В. Денисов // Технол. машиностр. 2005, № 9. – С. 42-43.

55. Белоцерковский, М.А. Технологические особенности и области использования гиперзвуковой металлизации / М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко // Инновации в машиностроении: Сборник научн. трудов. (Минск, 30-31 октября 2008 г.) / Редкол.: М.С. Высоцкий [и др.]. Минск ОИМ НАН Беларуси. 2008. – С. 479-484.

56. Коробов Ю.С. Эффективность применения активированной электродуговой металлизации защитных покрытий. / Коробов Ю.С. // Свароч. пр-во. 2005, № 2. – С. 47-50.

57. Буйкус Кястас Вито. Восстановление деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин активированной дуговой металлизации: дис. канд. техн. наук. - Минск., 1998.

58. Белоцерковский М.А. Опыт эксплуатации деталей транспортных машин, восстановленных активированной металлизацией/М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко//Сб. материалов III межд. научно-практ. конф. «Проблемы безопасности на транспорте». Гомель. – БелГУТ. – 2005. – С. 237-238.

59. Витязь П.А. Упрочнение газотермических покрытий. / П.А Витязь. Р.О. Азизов, М.А. Белоцерковский // Мн.: Бестпринт, 2004. – 192 с.

59. Улучшение напыленных покрытий посредством высоковольтного электронно-лучевого оплавления. Improvement of sprayed coatings with ultra high voltage EB melting / Tomie michio, Abf Nobuyuki, Morimoto Junij, Yamaguchi Akio, Arata Yoshiaki // Trans. JWRI. – 1992. – 21, № 2. – С. 229-300.

60. Башенко В.В. Металлургические особенности модификации газотермических покрытий с использованием электронного луча / В.В. Башенко, Н.Н Децик // Междунар. науч. – техн. конф. «Металлургия сварки и свароч.

матер.», посвящ. памяти проф., д-ра техн. наук Петрова Г.Л. (1913 – 1993), Санкт – Петербург, 1-2 июня, 1993: Тез. докл. – СПб, 1993. – С. 194-197.

61. Zeng Xiaoyan Влияние параметров лазерной обработки на качество покрытия / Zeng Xiaoyan, Zhu Beidi, Tao Zengye et al. // *Jinshu rechuli-Heat. Treat. Met.* – 1993 – № 7. – С.23–27.

62. Зайцев К. В. Разработка процесса ультразвуковой обработки стальных поверхностей перед газотермическим нанесением покрытий. / К. В. Зайцев // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 28 марта, 2012. Новосибирск. 2012. – С. 46-49.

63. Шевцов А. И. Структура и свойства газотермических композиционных покрытий, обработанных импульсами лазерного излучения. / А. И. Шевцов, В. А. Оковитый, В. В. Клецко, А. Н. Чумаков, Н. А. Босак, К. В. Буйкус, Т. А. Ильющенко // *Порош. металлургия (Беларусь)*. 2010, № 33. – С. 289-296.

64. Климанов В.А. Физические основы лазерной и ультразвуковой обработки газотермических покрытий / В.А. Климанов, В.П. Безбородов, Н.Н. Привалова, Е.А. Ковалевский // *Разраб. и применение технол., оборуд. и матер. для газотерм. процессов нанесения защит. покрытий: Тез. науч.-практ. конф.*, Минск, 5-6 июня, 1990. – Минск, 1990. – С. 8-9.

65. Кадырметов А.М. Проблемы и перспективы использования лазерного оплавления газотермических покрытий. / А.М. Кадырметов, А.В. Винокуров, Д.И. Станчев // *Лес и молодежь ВГЛТА – 2000 г.: Материалы юбилейной научной конференции молодых ученых, посвященной 70-летию образования Воронежской государственной лесотехнической академии*, Воронеж, 21-25 февр., 2000. Т. 2. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. лесотехн. акад. 2000. – С. 88-91.

66. Голубев В.С. Лазерное оплавление газотермических покрытий. / В.С. Голубев, И.А. Иванов, И.С. Чеботько // *Разраб. и применение технол., оборуд. и*

матер. для газотерм. процессов нанесения защит. покрытий: Тез. науч.-практ. конф., Минск, 5-6 июня, 1990. – Минск, 1990. – С. 38.

67. Подчерняева И.А. Лазерное оплавление газотермических покрытий на основе кортинита / И.А. Подчерняева // Технол. и орг. пр. – ва. – 1992. – № 2. – С. 42-43. матер. 2012, № 3. – С. 43-50.

68. Глебова М.А. Повышение качества газотермических покрытий при термической обработке токами высокой частоты и лазерным лучом. / М.А. Глебова, А.Б. Корнев, В.В. Глебов, Е.К. Березин // Свароч. пр. – во, 2004. – № 6. – С. 43-46, 62,

69. Пилипенко О.М. Вібраційна обробка газотермічних покриттів. / О.М. Пилипенко Черкаси, Сіяч. – 2000. – С. 203.

70. Борисов Ю.С. Модифицирование поверхностного слоя газотермических покрытий ультразвуковой обработкой / Ю.С. Борисов, А.Г. Ильенко, В.А. Афонин // Поверхн. слой, точ. и эксплуат. свойства деталей машин: Постоянно действующ. межотрасл. Семина., Москва, 16-17 мая, 1991. – М., 1991. – С. 15.

71. Соколов Ю.В. Термическая обработка напыленных покрытий / Ю.В. Соколов, М.А. Садовая, Д.А. Попок // Вестн. Беларус. нац. техн. ун-та. – 2004. – № 3. – С. 40-41.

72. Применение ультрадисперсных порошков тугоплавких соединений для повышения механических свойств плазменных покрытий / Черепанов А.Н., Солоненко О.П., Полубояров В.А., Коротаева З.А., Кузьмин В.И., Лапин А.Е. // Численные методы решения задач теории упругости и пластичности: Труды 17 Межреспубликанской конференции, Новосибирск, 3-5 июля, 2001. Новосибирск: Лада. 2001, с. 244-250.

73. Калита В.И. Упрочнение плазменных покрытий электромеханической обработкой. / В.И. Калита, В.П. Багмутов, И.Н. Захаров, Д.И. Комлев, А.Ю. Иванников // Физ. и химия обраб. матер. 2008, № 1. –С. 38-42.

74. Багмутов В.П. Электромеханическое упрочнение плазменных покрытий с формированием аморфных наноструктур в поверхностном слое. / В.П. Багмутов, В.И. Калита, И.Н. Захаров, Д.И. Комлев // Фундам. пробл. соврем. материаловед. 2007. 4, № 1. – С. 18-23.

75. Яковлев К.А. Влияние термомеханического упрочнения на прочность соединения напыленного покрытия с основой. / К.А. Яковлев, С.В. Шкурба // (ВГЛТА). Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 1. Воронеж. гос. лесотехн. акад. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад. 2006. – С. 51-55.

76. Электроконтактное упрочнение как механотермический метод управления качеством поверхности. Тематический сборник «Материалы, технологии и оборудование для восстановления деталей машин». Мн.: УП «Технопринт», Новополоцк, ПГУ, 2003. – С. 252-254.

77. Лопата Л.А. Повышения качества напыленных покрытий / Л.А. Лопата, Н.А. Медведева, Т.М. Туник, С.Г. Салий. // Мир Техники и Технологий, Международный технический журнал, №8 (54), 2005. – С.54-56.

78. Дудан А.В. Выбор оборудования для упрочнения и восстановления деталей автомобильного транспорта электродуговым напылением / А.В. Дудан, Т.В. Ворона, С.А. Довжук, Ю.В. Брусило, Р.М. Салимов, Ю.В. Волков // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. Машиноведение и машиностроение. /Вып. № 11/ – Новополоцк: ПГУ, 2014. – С. 121-126.

79. Устройство для высокоскоростного напыления покрытий: патент РБ № 4365/М.А. Белоцерковский, А.С. Прядко, А.Е. Черепко//Опубл. 30.03.2002 г.

80. Балдаев Л.Х. Требования, предъявляемые к современному оборудованию для газотермического напыления. / Л.Х. Балдаев // Хим. техн. 2004, – № 8. – С. 28-31.

81. Електрод для електроконтактного прип'явання порошків: пат України 37465 А. / Л.А. Лопата, Ф.Й. Златопольський, М.В. Красота // Бюл. №4, 15.05.2001.

82. Мерзляков В.А., Новиков С.В. База данных физико-механических свойств материалов и ее использование в пакетах прикладных программ / В.А. Мерзляков, С.В. Новиков // Пробл. прочн. -1997.-№ 4.-С.90-94.

83. Фень Е.К. Износо- и жаростойкие материалы покрытий для сверхзвукового плазменного и электродугового напыления / Е.К. Фень // Сварщик: Технологии, производство, сервис. – 2011. – № 1. – С. 32-35.

84. Гончаров А. Н. Современные материалы для газотермического напыления. / А. Н. Гончаров, Д. В. Колмыков, Е. В. Гончарова // Научное обеспечение агропромышленного производства: Материалы Международной научно-практической конференции, Курск, 25-27 янв., 2012. Ч. 3. Курск. 2012. – С. 227-230.

85. Гордеев А.Ф. Материалы для газотермического напыления покрытий. Технология металлургии. 2005. – № 4. –С. 47-55.

86. Коробов Ю.С. Моделирование процессов движения, нагрева и окисления частиц при электродуговой металлизации / Ю.С. Коробов, В.Н. Бороненков // Пленки и покрытия 98: Труды 5-й междун. конф., СПб., 23-25 сен. 1998 г. – СПб., 1998. – С.351-353.

87. Коробов Ю.С. Расчет параметров движения, нагрева и окисление частиц при электродуговой металлизации. / Ю.С. Коробов // Сварочное производство – 1998. – № 3. – С. 9-13.

88. Брусило Ю.В. Удосконалення технології відновлення деталей авіаційної наземної техніки шляхом керування технологічними параметрами электродугового напилення (ЕДН), складом матеріалу і конструкцією обладнання для ЕДН/Ю.В. Брусило, Р.М. Салімов, Т.В. Ворона, В.М. Лопата//Материалы 15-й межд. научно-техн. конф. «Инженерия поверхности и реновация изделий» 1-4 июня 2015, Затока – Киев – С. 24-25.

89. Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И. Методы исследования материалов. / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев // – М.: Мир, 2004. – 384 с.

90. Богомолова Н.А. Практическая металлография. / Н.А. Богомолова //– М.: Высшая школа, 1987. – 240 с.

91. Глебова М.А. К вопросу о твердости газотермических покрытий / М.А. Глебова, А.Б. Корнев, Е.К. Березин// Контроль. Диагностика. 2003. №6. — С. 39-43.

92. Подображнж А.Н. Взаимосвязь параметров плотности и пористости газотермических покрытий / А.Н. Подображнж, Рогожин // Свароч. пр-во. – 1996, № 2. – С. 29-31.

93. Глебова М.А. Контроль прочности сцепления газотермических покрытий. / М.А. Глебова, А.Б. Корнев, В.В. Глебов. // Упрочняющие технологии и покрытия 2005. - №2. - С. 45-50.

94. Мельников А.В. Определение прочности сцепления покрытия с основанием. / А.В. Мельников, А.М. Шарюков, Я.В. Хусаинов // Научно-техническое творчество: проблемы и перспективы: Матер. 2 Всерос. конф.-семинара, Сызрань, 30-31 мая, 2007. Самара: Самар. гос. техн. ун-т. 2007, с. 53-56.

95. Новая методика определения прочности адгезионного сцепления покрытий. Evaluation for adhesion strength of coating and substrate by burying beforehand specimen. Liao Yi-do, Li Zhuang-yun, Tang Guo-qun. J. Wuhan technol. Mater. Sci. Ed. 2003. 18, № 1, С. 31-32.

96. Дмитриев Ю.В. Методологический подход к исследованию механических характеристик материалов с покрытиями: дис. канд. техн. наук: 05.02.09: К./ Ю.В. Дмитриев 1990. – С. 61-92.

97. Ляшенко Б.А. Методика определения механических характеристик композиции металл-защитное покрытие/ Б.А. Ляшенко, С.Ю. Шаривкер, О.В. Цыгулев и др.// Проблемы прочности-1989.-№8.-С.113-115.

98. Дякин С.И. Обзор методов испытания на трение и изнашивание трибосопряжений механизмов и машин / С.И. Дякин // Ремонт, восстановление, модернизация. - №3. - С.17 - 23. – 2010.

100. Дроздов Ю.Н. Прогнозирование изнашивания с учетом механических, физико–химических и геометрических факторов / Ю.Н. Дроздов // Сб. докл. Междун. конгр. «Механика и трибология транспортных систем – 2003», Ростов н/Д. 10–13 сент., 2003, Т.1. Ростов н/Д.: Изд–во Рост. гос. ун–та путей сообщ., 2003. – С.309–313.

101. Бабак В.П. Непрерывный контроль процессов трения и изнашивания на основе использования метода акустической эмиссии / В.П. Бабак, В.Н. Стадниченко, В.А. Войтов и др. // Технологические системы, 2004.-№2.-С.42-46.

102. Райченко А.И. Триботехническая оценка износостойких покрытий / А.И. Райченко, К.Э. Гринкевич, З.П. Шуригина, В.С. Антонюк // Сб. ”Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: Материалы Пятой юбилейной Промышленной конференции, 21 – 25 февраля 2005 г., Славское-Киев: УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», 2005. – С. 286 - 288.

103. Антонюк В.С. Розрахунковий метод визначення параметрів зносостійкого покриття / В.С. Антонюк, О.Б. Сорока, В.В. Панівко // "Вісник СумДУ", №11 (83)' 2005 – С.13 –18.

104. Соколов И.К. Влияние способа подготовки напыляемой поверхности на прочность сцепления газотермического покрытия / И.К. Соколов, А.Н. Еремичев // Порош. металлургия (Киев). – 1993. - № 2. – С. 26-30

105. Л.А. Лопата. Дослідження відновлення автомобільних деталей типу «вал» електродуговою металізацією. / Л.А. Лопата, В.М. Лопата, Н.А. Медведєва, Т.М. Тунік // Збірник наукових праць «Конструирование и технология производства с/х машин»- Кіровоград: КНТУ. 2005.- Вип. № 35 – С. 409-416.

106. Брусило Ю.В. Влияние факторов процесса электродугового

напыления на структурообразование и свойства покрытий. / Ю.В. Брусило С.А. Довжук Л.А. Лопата // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». - 2010. - Випуск 23, - С. 287-297. 88.

107. Brusilo Y.V., Cherepko A.E. Investigation of properties of coatings deposited by different arc spraying methods. / Y.V. Brusilo, A.E. Cherepko // Науковий журнал «Наукоємні технології №4(20) 21013 - С. 366-371.

108. Студент М.М. Разработка защитных и восстановленных металлизированных покрытий с использованием порошковых проволок. Дис... канд. техн. наук: 05.02.01 /Физ.-мех. ин-т АН Украины.- Львов., 1998.

109. Опыт применения порошковой проволоки ФМИ-2 для электрометаллизационного нанесения восстановительных покрытий. В. И. Похмурский, И. И. Сидорак, М. М. Студент. Автоматическая сварка. -2002., №2. - С. 3-4.

110. 425. Похмурский В. И., Студент М. М., Довгунык В. М. и др. Порошковые проволоки систем FeCrV+Al и FeCrV+Al+C для электродуговой металлизации // Автоматическая сварка. - 2002. - № 3. - С. 32-35.

111. Взаимовлияние газотермического покрытия и основного материала детали на их механические свойства. Глебова М.А., Корнев А.Б. (Волжская государственная академия водного транспорта, Н-Новгород). Упрочняющ. технол. и покрытия. 2005, № 6, С. 47-53.

112. Глебова М.А. Взаимовлияние газотермического покрытия и основного материала детали на их механические свойства/ М.А . Глебова, А.Б.Корнев// Упрочняющие технологии и покрытия — 2005. №6. -С. 47-53.

113. Глебова М.А. К вопросу о механических свойствах износостойких газотермических покрытий и композитов» «сталь — газотермическое покрытие» / М.А. Глебова, А.Б. Корнев, В.В. Глебов // Эффект безопасности и триботехнологии. — 2003. №1. - С. 49-59.

114. Ляшенко Б.А. Механические характеристики композиций металл-напыляемое покрытие / Б.А. Ляшенко [и др.] // Проблем. прочности. – 1989. – № 8. – С. 47-49.

115. Ляшенко Б.А. О критериях адгезионно-когезионной равнопрочности и термостойкости защитных покрытий // Проблемы прочности. – 1980. – № 10. – С. 114.

116. Ляшенко Б.А. Управление технологией электроконтактного припекания порошковых материалов по критерию адгезионно-когезионной равнопрочности. / Б.А. Ляшенко, Н.А. Долгов, Т.В. Лопата // Материалы 8-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» 27-29 мая 2008 г., г. Ялта, АТМ Украины, Киев: 2008. – С. 148-150.

117. Черновол М.И. Способ получения износостойких покрытий / М.И. Черновол, Т.В. Ворона, О.А. Микосянчик, Л.А. Лопата, В.И. Жорник // Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал «Инженер-механик» / Вип. № 2 (67)/ - Минск: 2015, апрель–июнь. – С. 38-39.

118. В.Є. Канарчук, Е.К. Посвятенко, Л.А. Лопата, О.П. Токин. Електроконтактне зміцнення як метод інженерії поверхні деталей транспортних засобів при їх виготовленні і відновленні. Вісник / Збірник наукових праць транспортного університету та транспортної академії України. Вип. №5, Київ, РВВ НТУ, 2001. - С.3-6.

119. Корж В.Н., Лопата Л.А.. Управление качеством поверхности механотермическим методом электроконтактного упрочнения. Тематический сборник «Материалы, технологии и оборудование для восстановления деталей машин». Мн.: УП «Технопринт», Новополоцк, ПГУ, 2003.- С. 252-254.

120. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А.. Электроконтактное упрочнение. - Минск: "Наука и техника", 1982.-256 с.

121. Токарев А.П. Формирование структуры композиции «Сталь – защитное покрытие» обработкой источниками концентрированной энергии для

пovyшення її надійності: автореф. докт. дисс. / Токарев А.П.; Новосибирск: НГАВТ, 2004. 40 с.

122. Лоскутов С.В. Молекулярно-динамическое электроимпульсное воздействие на дефектную структуру металлов. / С.В. Лоскутов, Г.В. Коронич // Физ. и химия обраб. матер. 2006. 2006, № 3. – С. 63-66.

123. Журкин Б.Н. Влияние электроимпульсной обработки стали на структурные и фазовые превращения / Б.Н. Журкин, Б.В. Скворцов, А.Е. Горский // Электрофизические методы и технологии воздействия на структуру и свойства мет. матер.: Всес. шк. - семин., сент, 1990. – Л., 1990. – С. 63-64.

124. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник.– К.: Основа, 2010. – 240 с.

125. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки.

126. ДСТУ 2489-94. Контактне зварювання. Вимоги безпеки.

127. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

128. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.