

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження. Захист деталей машин і конструкцій від корозії та зношування, підвищення довговічності машин і механізмів – одна з найважливіших технічних проблем. Перспективним напрямом підвищення терміну служби виробів є утворення поверхневого шару, що контактує із зовнішнім середовищем, з підвищеними фізико-механічними властивостями. Використання зносостійких, корозійностійких, жаростійких, хімічностійких, електроізоляційних, теплоізоляційних і інших видів захисних покриттів деталей та вузлів машин, різного роду робочих поверхонь, дозволяє скоротити втрати металів, витрати ресурсів на їх відшкодування і дає можливість підвищити якість, надійність машин, терміни експлуатації устаткування. Зниження витрат на ремонт і обслуговування устаткування досягається шляхом використання більш досконалих матеріалів для вузлів тертя, зокрема, композиційних покриттів, отриманих методами газотермічного напилення (ГТН), такими як плазмовий, газополуменевий та ін. Серед усіх методів ГТН виділяють електродугове напилення, яке є найбільш простим і технологічним, має найбільшу продуктивність та високі коефіцієнти використання матеріалу і енергетичний ККД, які можуть досягати 0,7...0,9. Відносна вартість електродугових покриттів в 3 – 10 разів нижча, ніж покриттів отриманих іншими методами ГТН при забезпеченні їх високої міцності. Найбільш широке розповсюдження електродугове напилення отримало в результаті створення корозійностійких покриттів на різних конструкціях та спорудах. Це переважно покриття з алюмінію і цинку. Як зносостійкі покриття напилюють сталі, бронзи та ін. Перспективні псевдосплавні покриття, які отримують розпиленням двох або трьох різнорідних дротів і композиційні – з використанням порошкових дротів. Основними недоліками цього методу є: використання лише електропровідних дротів як матеріалу, що розпилюються, невисокі міцнісні характеристики

покриттів, що обмежує можливості даного методу. При використанні порошкового дроту неможливо отримати металополімерне покриття, оскільки полімерний компонент деструктує під впливом високих температур дугового розряду. Використання порошкових дротів для отримання композиційних покриттів призводить до підвищення їх вартості, при цьому такі покриття мають низькі механічні властивості і високу пористість.

Таким чином, розглядаючи властиві електродуговому напilenню недоліки у поєднанні з простотою, високими коефіцієнтом використання матеріалу і енергетичним ККД, високою продуктивністю, тема дисертаційної роботи «Розробка технології електродугового напilenня композиційних покриттів з використанням порошкових матеріалів», яка присвячена розвитку цього методу у напрямі створення нових якісних композиційних покриттів, представляється актуальною для машинобудівної і інших галузей промисловості України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Основні етапи дисертації виконувалися відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України за держбюджетними темами № 1555 «Дослідження впливу термодформаційних, електрофізичних та газодинамічних процесів на формування структури і властивостей порошкових матеріалів і напilenних покриттів» та № 1674 «Теоретичні і технологічні основи створення комплексно-захисних матеріалів та покриттів для способів зберігання і транспортування небезпечних речовин». Рівень участі в роботах – відповідальний виконавець.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у створенні електродугових композиційних покриттів шляхом подачі полімерних, керамічних, скляних порошків у високотемпературну зону розпилювача, розробці технологічних основ їх напilenня і практичних рекомендацій для підвищення рівня експлуатаційних властивостей покриттів.

Для досягнення зазначеної мети були сформульовані та вирішені такі задачі:

1. Встановлення оптимальних газодинамічних та геометричних параметрів ежектора для подачі полімерних, керамічних та скляних порошків у високотемпературну зону розпилювача при формуванні електродугових композиційних покриттів.

2. Розробка технологічних основ процесу нанесення композиційних електродугових покриттів з використанням полімерних, керамічних і скляних порошків;

3. Розробка способу управління складом композиційних електродугових покриттів;

4. Вибір оптимального режиму напилення для отримання композиційних електродугових покриттів із заданим складом і експлуатаційними властивостями;

5. Визначення зносостійкості та фізико-механічних властивостей композиційних електродугових покриттів;

6. Розробка подальшої термічної обробки електродугових покриттів для підвищення їх експлуатаційних властивостей.

Об'єкт дослідження – процеси формування композиційних покриттів, фізико-механічні і експлуатаційні властивості.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів процесу напилення електродугових композиційних покриттів на їх структуру, фізико-механічні і експлуатаційні властивості.

Методи дослідження. Дослідження якості отриманих електродугових композиційних покриттів проводили з використанням мікроструктурного аналізу. Ідентифікацію фаз в покритті виконували шляхом визначення їх мікротвердості. Дослідження теплофізичних характеристик покриттів здійснювали за допомогою вимірника теплопровідності ИТ-λ-400. Міцність зчеплення покриттів з основою визначали методом “витягування штифта” на розривній машині УММ-5 на зразках свідках. Випробування на зносостійкість металоскляних покриттів, нанесених на розрахованих режимах напилення,

проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою ролик-колодка в умовах обмеженого змащування. Визначення розмірів зон когерентного розсіювання, для оцінювання розмірів субструктури матеріалу покриття методом рентгеноструктурного аналізу, а також фазового складу, здійснювали на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3.

У всіх дослідженнях як основу, на яку наносили композиційні електродугові покриття, використовували сталь 45.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Теоретично обґрунтована можливість безперебійної подачі порошків різних матеріалів у високотемпературну зону електродугового розпилювача, що дозволило змінити конструкцію розпилюючої голівки і вперше, за рахунок цього, сформувати композиційне покриття. Розробка захищена двома патентами.

2. Визначені оптимальні параметри режиму напилення, що забезпечують заданий склад і властивості композиційних металокерамічних покриттів з Св-08Г2С-О – Al_2O_3 , Св-08Г2С-О – ZrO_2 і металоскляних з Св-08Г2С-О – А-скла.

3. Вперше встановлено, що при введенні в електродугове покриття із Св-08Г2С-О 11 ± 3 % (об.) А-скла, міцність зчеплення з основою зростає від 28 МПа до 38 МПа, а зносостійкість збільшується в порівнянні з литою бронзою БрАЖ 9-4 в 2,8 разів.

4. Вперше визначено режим термічної передрекристалізаційної обробки електродугових покриттів з Св-08Г2С-О та композиції Св-08Г2С-О – А-скло, що полягає в нагріванні до температури 500 °С, витримці впродовж 1,5 хв. і подальшого охолодження на повітрі, який забезпечує підвищення експлуатаційних властивостей за рахунок подрібнення субструктурних складових в матеріалі покриття. Розробка захищена двома патентами.

5. Розвинено метод електродугового нанесення покриттів шляхом розширення можливостей створення композиційних

покриттів з використанням порошків різних матеріалів за рахунок формування трьохфазного струменя завдяки вдосконаленій конструкції розпилюючої голівки і розробки технологічних основ їх напилення.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість наукових результатів підтверджується ретельним аналізом наукових робіт в даній області, задовільним узгодженням результатів вирішених завдань з результатами робіт інших авторів, необхідною точністю експериментів та використанням методів математичної статистики для обробки результатів, а також результатами впровадження розробок у виробництво.

Наукове значення роботи полягає у виявленні закономірностей формування композиційних електродугових покриттів заданого складу при безперервній подачі порошків різних матеріалів у високотемпературну зону струменя і у визначенні впливу їх на структуру, фізико-механічні та експлуатаційні властивості покриттів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в удосконаленні конструкції електродугового розпилювача, що дозволяє вводити у високотемпературну зону струменя порошки різних матеріалів для формування композиційних покриттів і визначенні режимів напилення, що забезпечують заданий склад і експлуатаційні властивості, виборі режимів термічної обробки, яка забезпечує підвищення службових властивостей електродугових покриттів, розробці технологічних рекомендацій для відновлення вузлів гідравлічного устаткування, впровадження результатів роботи у виробництво.

Впровадження результатів дисертаційної роботи. Основні результати роботи впроваджені на підприємстві ТОВ «Нікспецсервіс» і використовуються для відновлення вузлів гідравлічного устаткування, а саме нанесення електродугових металоскляних покриттів на робочі поверхні штоків гідроциліндрів.

Результати досліджень впроваджені у навчальний процес Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Особистий внесок автора полягає в удосконаленні конструкції електродугового розпилювача для отримання композиційних покриттів шляхом додаткової подачі порошків різних матеріалів у високотемпературний струмінь і розробки технологічних основ їх нанесення з відповідною технічною документацією. Під керівництвом і при безпосередній участі автора розроблені методики і проведені експериментальні дослідження впливу режимів напилення на мікроструктуру отриманих композиційних покриттів, проведена ідентифікація фаз і виміряна їх мікротвердість, отримані рівняння регресії, які дозволяють розраховувати оптимальні параметри режиму напилення покриттів із заданим складом і властивостями, вибрані оптимальні режими термічної обробки, що забезпечують підвищення експлуатаційних властивостей покриттів, виміряна їх твердість, теплопровідність, проведені випробування на міцність зчеплення покриттів з основою і визначена їх зносостійкість. Обробка і аналіз отриманих результатів дослідження, які включені в дисертацію, виконані автором самостійно.

Апробація результатів дослідження. Матеріали дисертаційної роботи оприлюднені в достатній кількості у тезах доповідей та обговорені на наступних конференціях: Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців “Суднова енергетика: стан та проблеми”. – Миколаїв: НУК, 2007; Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих науковців “Зварювання та споріднені процеси і технології”. – Миколаїв: НУК, 2008; Тез. стенд. докл. “Сварка и родственные технологии в третье тысячелетие” / Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. – Киев, 2008; Материалы Двадцать девятой международной конференции и семинара 1 – 5 июня 2009 г. “Композиционные материалы в промышленности.

Трубопроводы из полимерных композиционных материалов: изготовление, проектирование, строительство, эксплуатация”. – Ялта – Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2009; Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры сварочного производства НУК и 75-летию Института электросварки им. Е.О. Патона “Проблемы сварки, родственных процессов и технологий”. – Николаев: НУК, 2009; Материалы шестой международной конференции “Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизация изделий”. – Ялта, 2010; Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції “Нові матеріали та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів”. – Запоріжжя, 2010; Материалы II международной научно-технической конференции “Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития”. – Краматорск, 2010; Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 20-річчю незалежності України “Інновації в суднобудуванні та океанотехніці”. – Миколаїв: НУК, 2011.

Публікації. По темі дисертації опубліковано двадцять чотири наукові роботи, з яких 7 статей, з них 5 входять в Перелік ДАК (без співавторів 1), 13 тез доповідей, отримано 2 патенти України на корисну модель і 2 патенти України на винахід.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, одного додатку, переліку використаної літератури, що налічує 126 позицій. Робота викладена на 158 сторінках машинописного тексту, вміщує 14 таблиць і 48 ілюстрацій.

Вступ містить обґрунтування актуальності роботи, формулювання мети і завдань досліджень, наукових результатів і їх практичного значення, данні про зв’язки роботи з науковими темами й особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану та перспектив розвитку технології електродугового напilenня антифрикційних і зносостійких покриттів. Аналіз газотермічних методів нанесення композиційних покриттів показав, що електродугове напilenня в порівнянні з іншими методами ГТН є найбільш простим і технологічним, має найбільшу продуктивність і високі коефіцієнти використання матеріалу та енергетичний ККД, які можуть досягати 0,7...0,9. Відносна вартість електродугових покриттів в 3 – 10 разів нижча, ніж покриттів отриманих іншими методами ГТН при забезпеченні їх високої міцності.

Перспективним вважається активоване електродугове напilenня (АДМ). Відмінними рисами АДМ є спільне використання відновлювальних сумішей як транспортуючого газу, певне взаємне розташування сопел і дротів-електродів, цілеспрямований вплив на зону горіння дуги. Це дозволяє знизити розбризкування металу на 40 %, зменшити кут розпилення в 3,0...3,5 рази, підвищити коефіцієнт використання матеріалу на 25...40 % і знизити ступінь окислення покриттів на 40 % в порівнянні з типовими електродуговими апаратами.

Найбільш широке поширення електродугове напilenня отримало в результаті створення корозійностійких покриттів із алюмінію та цинку на різних конструкціях і спорудах. Як зносостійкі застосовують електродугові покриття з різних сталей, бронз та інших матеріалів. Перспективні псевдосплавні покриття з сталі і міді, міді і олова та інших матеріалів, які отримують розпиленням двох або трьох різнорідних металевих дротів суцільного перетину і композиційні – з використанням порошкових дротів.

До основних недоліків цього методу відносять застосування тільки електропровідних дротів як матеріалу, що розпилюється, невисокі міцності характеристики покриттів, що обмежує можливості даного методу. При використанні порошкового дроту неможливо отримати металополімерне покриття, так як полімерний компонент деструктує під впливом

високих температур дугового розряду. Застосування порошкових дротів для отримання композиційних покриттів призводить до підвищення їх вартості, при цьому такі покриття мають низькі механічні властивості і високу пористість.

В кінці розділу сформульовані мета і завдання роботи.

У другому розділі вибрані матеріали та обладнання, описані методики проведення експериментальних досліджень.

Одним із критеріїв вибору матеріалів використаних в дисертаційній роботі – їх поширеність і низька собівартість.

Для отримання композиційних електродугових покриттів використовували наступні матеріали: зварювальний сталевий дріт марки Св-08Г2С-О ГОСТ 2246-70 і зварювальний алюмінієвий дріт марки СвАМг 5 ГОСТ 7871-75 (діаметр застосовуваних дротів 1,2 мм); полімерний порошок марки П-ЕП-219 ТУ 6-10-1597-77; керамічні порошки Al_2O_3 марки Г-1 ГОСТ 30558-98 і ZrO_2 стабілізованого 7 % Y_2O_3 , марки ЦРО-1 ГОСТ 21907-76; бій скла групи А (тарного). Фракція порошоків становила 40...80 мкм.

Досліди проводилися на установці електродугового напilenня КДМ-2, до складу якої входить електродуговий апарат ЕМ-14М з центральною сопловою системою подачі стисненого повітря і джерело живлення «ТІМЕЗ-500», призначене для живлення електричної дуги металізаційного апарату постійним струмом.

У третьому розділі виконано розрахунки швидкості і витрат потоку стиснутого повітря, яке витікає з сопла розпилюючої голівки електродугового апарату ЕМ-14М, на робочих режимах. Встановлено, що максимальна швидкість витікання потоку стисненого повітря з сопла дорівнює 319 м/с і досягається при робочому тиску 0,7 МПа, що відповідає максимальній витраті – 89 м³/год. При мінімальному робочому тиску 0,5 МПа швидкість витікання потоку стиснутого повітря становить 296 м/с, витрати – 58 м³/год.

Розраховані коефіцієнти інжекції і основні геометричні параметри ежектора для електродугового апарату ЕМ-14М на

робочих режимах. Встановлено, що максимальний коефіцієнт інжекції $u = 0,26$ досягається при робочому тиску 0,7 МПа. Подальше збільшення тиску не приведе до збільшення коефіцієнта інжекції, так як при цьому тиску досягається критична швидкість витікання потоку стисненого повітря з сопла, яка становить 319 м/с. При такому режимі тиск потоку повітря, що інжектуються, у вхідному перерізі камери змішування складає 0,068 МПа, швидкість витікання в цьому ж перерізі – 124 м/с, витрати – 23 м³/год. При тиску 0,5 МПа максимально досяжний коефіцієнт інжекції $u = 0,17$, тиск потоку повітря, що інжектуються – 0,058 МПа, швидкість – 99 м/с, витрати – 9,8 м³/год. В результаті розрахунку геометричних параметрів ежектора встановлено, що максимальна відстань від основного до додаткового сопла становить не більше 9,96 мм, а максимальний діаметр вільного струменя на цій відстані дорівнює – 7,84 мм.

На підставі проведеного аналізу стану і перспектив розвитку електродугового методу напilenня, проведених розрахунків швидкості і витрат потоку стиснутого повітря, що витікає з сопла, коефіцієнтів інжекції і основних геометричних параметрів ежектора вдосконалена конструкція розпилюючої голівки електродугового апарату ЕМ-14М (рис. 1).

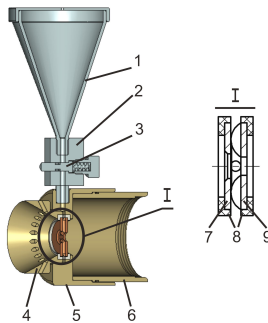


Рис. 1. Вузол безперебійної подачі порошків у високотемпературну зону електродугового апарату ЕМ-14М:

1 – бункер для порошку; 2 – дозуючий пристрій; 3 – важіль керування дозуючим пристроєм; 4 – захисний екран; 5 – ковпак розпилюючої голівки; 6 – перехідник; 7 – додаткове сопло; 8 – ізоляційні вставки; 9 – основне сопло

Завдяки вдосконаленій конструкції електродугового апарату ЕМ-14М вдалося за рахунок інжекції атмосферного повітря у високотемпературний струмінь подавати в зону дугового розряду порошки різних матеріалів, що дозволило за рахунок цього вперше сформувати композиційне (багатокомпонентне) електродугове покриття.

У четвертому розділі розроблено технологічні основи напилення композиційних електродугових покриттів з використанням полімерних, керамічних, скляних порошків і термічну обробку отриманих покриттів для подальшого підвищення їх експлуатаційних властивостей.

За допомогою вдосконаленого електродугового апарату ЕМ-14М отримані покриття з таких композицій: металополімерні з Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 (рис. 2 а) і СвАМг 5 – П-ЕП-219 (рис. 2 б); металокерамічні з Св-08Г2С-О – Al_2O_3 (рис. 2 в) і Св-08Г2С-О – ZrO_2 (рис. 2 з); металоскляні з Св-08Г2С-О – А-скла (рис. 2 д). Ідентифікація фаз в композиційних покриттях здійснювалася за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3.

При попередньому виборі режимів напилення, за допомогою комп'ютерного металографічного аналізу, встановлено максимально досяжний вміст відповідного наповнювача в композиційних покриттях для вдосконаленого апарату ЕМ-14М. Для металополімерних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 вміст П-ЕП-219 становить 40 % (об.), для композиції з СвАМг 5 – П-ЕП-219 – 35 % (об.). Для металокерамічних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – Al_2O_3 вміст Al_2O_3 становить 11,5 % (об.), для композиції з Св-08Г2С-О – ZrO_2 вміст ZrO_2 – 14 % (об.). Для металоскляних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – А-скло вміст А-скла складає 19,5 % (об.).

Встановлено зниження пористості в металополімерних покриттях за рахунок заповнення пір полімерною складовою: в композиції Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 з 13 до 7 % (рис. 2 а), в композиції СвАМг 5 – П-ЕП-219 з 10 до 4 % (рис. 2 б), при

цьому на поверхні покриття утворюється суцільна полімерна плівка товщиною від 10 до 100 мкм за рахунок того, що полімер твердне пізніше, ніж кристалізуються частки металу. При введенні в покриття полімерної складової, яка має низьку теплопровідність, відбувається зниження теплопровідності покриття (для композиції з Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 теплопровідність знижується на 46 %, у порівнянні з ненаповненим покриттям з дроту Св-08Г2С-О), що дозволяє застосовувати такі покриття не тільки як антикорозійні, але і теплоізоляційні на різних конструкціях і спорудах.

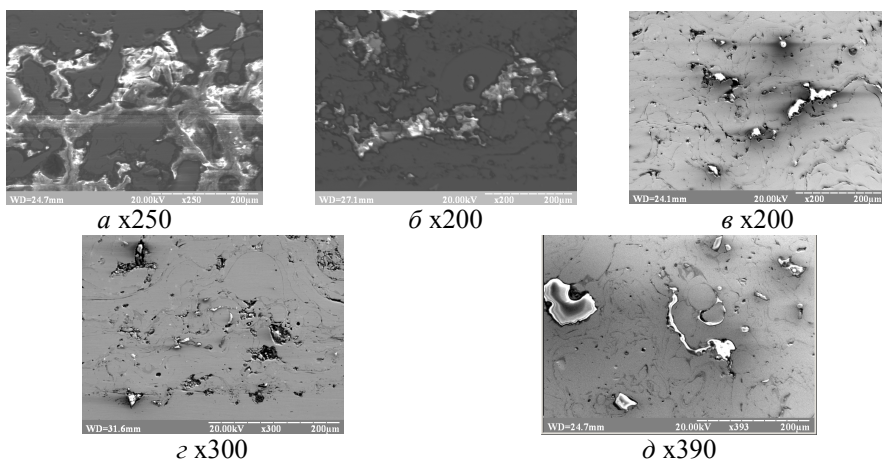


Рис. 2. Мікроструктура електродувових композиційних покриттів:
 а – Св-08Г2С-О – П-ЕП-219; б – Св-08Г2С-О – П-ЕП-219; в – Св-08Г2С-О – Al_2O_3 ; г – Св-08Г2С-О – ZrO_2 ; д – Св-08Г2С-О – А-скло

Високий вміст скляною фази в металоскляному покритті пов'язаний з тим, що температура розм'якшення силікатного скла лежить в інтервалі температур 500...800 °С. Тому, скляні частки, проходячи через зону електродугового розряду і всю подальшу дистанцію напilenня, частково оплавляються, розм'якшуються і формують з частками розплавленого металу композиційне металоскляне покриття (рис. 2 д). Більший вміст ZrO_2 в композиції з Св-08Г2С-О – ZrO_2 (рис. 2 г), ніж Al_2O_3 в

композиції з Св-08Г2С-О – Al_2O_3 (рис. 2 в), пояснюється кращою змочіваністю ZrO_2 розплавленими частками металу.

Встановлено, що в металокерамічних і металоскляних покриттях мікротвердість $\text{H}\mu_{50}$ і твердість HV_5 металевої матриці підвищується за рахунок додаткового наклепу відповідним наповнювачем. Мікротвердість $\text{H}\mu_{50}$ металевої матриці в металокерамічних покриттях зростає на 7 – 9 %, приріст твердості за Віккерсом HV_5 становить 15 %. У металоскляних покриттях мікротвердість $\text{H}\mu_{50}$ металевої матриці зростає на 14 %, приріст твердості за Віккерсом HV_5 – 21 %.

У роботі отримані рівняння регресії, за допомогою яких розраховують оптимальні параметри режиму напилення для отримання металокерамічних і металоскляних покриттів з заданим складом і експлуатаційними властивостями. Функція відгуку – вміст відповідного наповнювача Y .

Для металокерамічних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – Al_2O_3 рівняння регресії має вигляд $Y = 0,0117 \cdot I + 0,1756 \cdot G + 11,43 \cdot P - 4,544$, для композиції з Св-08Г2С-О – ZrO_2 – $Y = 0,0215 \cdot I + 0,2996 \cdot G + 18,8 \cdot P - 12,82$; для металоскляних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – А-скло – $Y = 0,0225 \cdot I + 0,4568 \cdot G + 28,16 \cdot P - 19,228$.

В результаті аналізу рівнянь регресії встановлено, що найбільший вплив на процес формування металокерамічних і металоскляних покриттів має тиск стисненого повітря P . Другий за значимістю фактор – витрати відповідного порошку G , третій – сила струму I .

Фізико-механічні властивості металокерамічних покриттів і матеріалів, наповнених керамічними частками Al_2O_3 і ZrO_2 , достатньо вивчені і описані у літературі, в зв'язку з цим практичний інтерес представляють для дослідження металоскляні покриття, наповнені склом групи А. Тому для визначення зносостійкості і міцності зчеплення в даній роботі

обрана композиція з Св-08Г2С-О – А-скло, так як ці матеріали є розповсюдженими і мають низьку собівартість.

За допомогою отриманого рівняння регресії розраховані параметри режиму нанесення металоскляних покриттів, що забезпечують заданий вміст А-скла.

Зносостійкість металоскляних покриттів визначали за схемою ролик-колодка при наступних умовах: колова швидкість 0,8 м/с, питомий тиск 5 МПа, витрати мастила марки М-10-ДМ в умовах обмеженого змащування складали 30 крапель на хвилину, пройдений шлях після притирання 10 км. Знос заміряли по втраті маси.

Аналіз результатів дослідження зносостійкості металоскляних покриттів з вмістом А-скла від 5 до 17 % (об.) (рис. 3) показав, що покриття з 17 % (об.) скляної фази має у 8 разів менший знос, ніж бронза марки БрАЖ 9-4 після термообробки (39...41 HRC), але при цьому спостерігається катастрофічний знос контртіла. Найбільшу зносостійкість має пара з металоскляним покриттям, вміст скляної фази 11 % (об.), сумарний знос якої в 6,9 разів нижче, ніж пари з ненаповненим покриттям з Св-08Г2С-О і в 2,8 разів менший, ніж бронзової.

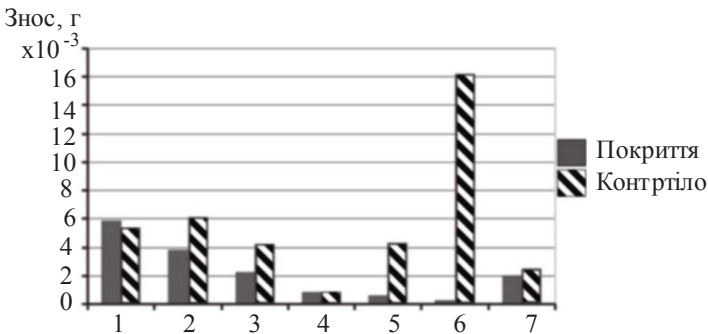


Рис. 3. Результати визначення зносостійкості покриттів:

1 – покриття з Св-08Г2С-О; 2 – покриття з Св-08Г2С-О – А-скло, вміст А-скла 5 % (об.); 3 – покриття з Св-08Г2С-О – А-скло, вміст А-скла 8 % (об.); 4 – покриття з Св-08Г2С-О – А-скло, вміст А-скла 11 % (об.); 5 – покриття з Св-08Г2С-О – А-скло, вміст А-скла 14 % (об.); 6 – покриття з Св-08Г2С-О – А-скло, вміст А-скла 17 % (об.); 7 – БрАЖ 9-4 (39...41 HRC)

Аналіз поверхні тертя металоскляного покриття і поверхні тертя ролика показав, що при заданих умовах тертя для досліджуваних зразків характерно механохімічне зношування. У металоскляних покриттях, з вмістом А-скла 11 % (об.), майже все навантаження тертя сприймає скляна фаза. На поверхні металевої матриці практично відсутні сліди тертя, про що свідчать отримані мікроструктури і результати зносостійкості. Поверхня ролика має неглибокі подряпини, які залишилися в результаті викришування окремих частинок скляної фази і появи слідів мікрорізання від цих складових.

Встановлено, що міцність зчеплення з підвищенням вмісту А-скла в покритті до 11 % (об.) зростає з 28 до 38 МПа, а потім знижується (рис. 4).

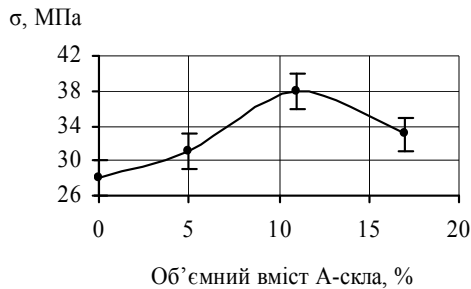


Рис. 4. Залежність міцності зчеплення металоскляних покриттів з основою від вмісту А-скла

Підвищення міцності зчеплення пов'язано з тим, що непроплавлені частки А-скла в покритті, зіштовхуючись з поверхнею основи, додатково її активують за рахунок своєї високої кінетичної енергії та кучастої форми, а зіштовхуючись з вже закріпленими пластичними металевими частками вбивають їх в мікронерівності поверхні основи і наступних шарів. Зниження міцності зчеплення пов'язано з подальшим збільшенням вмісту скляної фази, в результаті чого зменшується фактична зона контакту металевих частинок з основою.

На підставі результатів досліджень з визначення зносостійкості і міцності зчеплення, можна зробити висновок,

що оптимальний вміст скляною фази в металоскляних покриттях становить $11 \pm 3 \%$ (об.), при цьому такі покриття матимуть максимальну зносостійкість і міцність зчеплення з основою. Оптимальні параметри режиму напилення металоскляних покриттів, розраховані за отриманим рівнянням регресії, що забезпечують вміст скляної фази $11 \pm 3 \%$ (об.) наступні: сила струму 110 А, напруга 40 В, тиск стисненого повітря 0,6 МПа, витрата порошку 30 г/хв., дистанція напилення 80 мм.

Для подальшого підвищення експлуатаційних властивостей визначено оптимальний режим передрекristалізаційної термічної обробки електродугових покриттів, який полягає в нагріванні до температури 500 °С, витримки протягом 1,5 хв. і подальшого охолодження на повітрі, що призводить до підвищення твердості на 40 – 45 % (рис. 5), збільшує зносостійкість покриттів в 1,9 рази (рис. 6) і знижує коефіцієнт теплопровідності на 35 % (рис. 7) за рахунок подрібнення субструктури в матеріалі покриття.

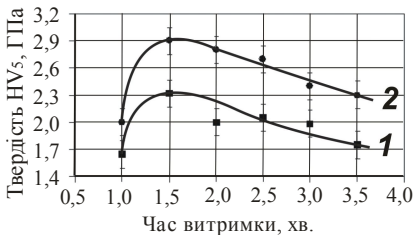


Рис. 5. Залежність твердості металевої матриці покриттів від часу витримки при термічній обробці (500 °С):

1 – електродугове покриття з дроту Св-08Г2С-О; 2 – електродугове покриття з композиції Св-08Г2С-О – А-скло

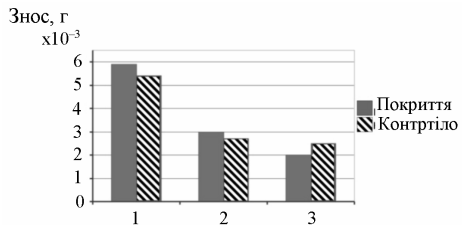


Рис. 6. Результати визначення зносостійкості:

1 – покриття з Св-08Г2С-О без термообробки; 2 – покриття з Св-08Г2С-О з термообробкою при 500 °С, витримці 1,5 хв., охолодження на повітрі; 3 – бронза марки БрАЖ 9-4 (39...41 HRC)

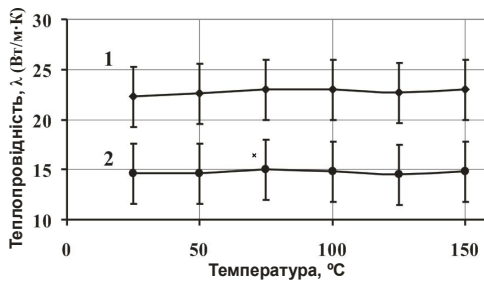


Рис. 7. Визначення коефіцієнтів теплопровідності електродугових покриттів з Св-08Г2С-О до і після передрекristалізаційної обробки:

1 – покриття з Св-08Г2С-О без термообробки; 2 – покриття з Св-08Г2С-О з термообробкою при 500 °C, витримці 1,5 хв., охолодження на повітрі

Дослідження мікроструктури електродугових металоскляних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – А-скла і з дроту Св-08Г2С-О на оптичному мікроскопі ММУ-3 при збільшенні в $\times 600$ та електронному мікроскопі-аналізаторі РЕММА-102-02 при збільшенні в $\times 1500$ показали, що змін в мікроструктурі покриттів до і після термообробки не виявляється. Це свідчить про те, що зміцнюючий ефект забезпечують структурні елементи розміром менше 0,5 мкм.

Рентгенофазовим аналізом електродугових покриттів з дроту Св-08Г2С-О встановлено, що кількість кристалічних фаз в них до термічної обробки становить не менше 99 %. На підставі цього можна виключити процес кристалізації з аморфної фази у наведених вище дослідях.

Вплив тривалості термічної обробки при температурі первинної рекристалізації на субструктуру напилених електродугових покриттів з дроту Св-08Г2С-О оцінювали за розмірами областей когерентного розсіювання (ОКР) рентгенівських випромінювань. При нагріванні нанесеного електродуговим методом покриття до температури початку первинної рекристалізації відбуваються процеси передрекristалізаційної полігонізації. Завдяки великій щільності дислокацій у деформованих зернах утворюється велика

кількість зародків нових субзерен, що при невеликій витримці і охолодженні на повітрі призводить до подрібнення субструктури покриття. Встановлено, що розмір ОКР після передрекристалізаційної термообробки (таблиця 1), яка забезпечує максимальну твердість, в 1,7 рази менше, ніж у стані після напилення (без термообробки) і становить менше 100 нм. При збільшенні тривалості передрекристалізаційної термообробки до 20 хвилин розмір ОКР збільшується в порівнянні зі станом після напилення (без термообробки), а твердість зменшується до 1,6 ГПа.

Таблиця 1

Матеріал покриття	Термообробка	Фізичне розширення відображень, град.		Розмір ОКР D, нм
		(110)	(220)	
Покриття з Св-08Г2С-О	Без термообробки	1,15	0,98	106
	500 °С, 1,5 хв.	1,25	1,05	61,9
	500 °С, 20 хв.	1,12	0,88	118

Це пов'язано з тим, що після повного заміщення новими субзернами всього об'єму деформованого матеріалу покриття починає відбуватися збільшення утворених субзерен за рахунок міграції меж або коалесценції при збільшенні температури або часу витримки.

Згідно з отриманими дифрактограмами електродугових металоскляних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – А-скла поява нових кристалічних фаз до і після термообробки не виявлено. У всіх досліджуваних зразках металева матриця має кристалічну структуру яка відповідає α -Fe, а частки скляної фази аморфні, що призводить до зниження інтенсивності основних піків і підвищеному фону на дифрактограмах.

У п'ятому розділі описано дослідно-промислове впровадження розробленої технології нанесення металоскляних електродугових покриттів на деталі гідравлічного обладнання. Розроблені технологічні рекомендації впроваджені на підприємстві ТОВ «Нікспецсервіс» і використовуються для відновлення робочої поверхні штоків гідроциліндрів, що

дозволяє знизити собівартість відновлення штоків на 30 %, витрати застосовуваних матеріалів при відновленні на 50 %.

ВИСНОВКИ

1. Електродугове напилення серед усіх газотермічних методів є найбільш простим і технологічним, має найбільшу продуктивність та високі коефіцієнти використання матеріалу і енергетичний ККД, які можуть досягати 0,7 – 0,9. Відносна вартість отримуваних покриттів в 3 – 10 разів нижче одержуваних іншими методами ГТН при забезпеченні їх високої міцності. Одним з основних недоліків електродугового методу є можливість застосування тільки електропровідних дротів як матеріалу, що розпильовується.

2. Отриманні розрахункові дані коефіцієнтів інжекції атмосферного повітря і основних геометричних параметрів ежектора, виявлена можливість подавання в зону дугового розряду порошки різних матеріалів за рахунок інжекції, що дозволило вдосконалити конструкцію розпильовуючої голівки електродугового апарату ЕМ-14М для нанесення композиційних (багатокомпонентних) покриттів. Розробка захищена двома патентами.

3. Розвинено електродуговий метод напилення шляхом розширення можливостей створення композиційних покриттів за рахунок формування трьохфазного струменя шляхом подачі в високотемпературну зону розпильовача порошку за допомогою вдосконаленої конструкції розпильовуючої голівки і розробки технологічних основ їх нанесення.

4. Отримані покриття з таких композицій: Св-08Г2С-О – П-ЕП-219; СвАМг 5 – П-ЕП-219; Св-08Г2С-О – Al_2O_3 ; Св-08Г2С-О – ZrO_2 ; Св-08Г2С-О – А-скло. Встановлено максимально досяжний вміст відповідного наповнювача в композиційних покриттях, напилених вдосконалим апаратом ЕМ-14М: для металополімерних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 вміст П-ЕП-219 становить 40 % (об.), для композиції з СвАМг 5 – П-ЕП-219 – 35 % (об.); для

металокерамічних покриттів з композиції Св-08Г2С-О – Al_2O_3 вміст Al_2O_3 становить 11,5 % (об.), для композиції з Св-08Г2С-О – ZrO_2 вміст ZrO_2 – 14 % (об.); для металоскляного покриття з композиції Св-08Г2С-О – А-скло вміст скляної фази становить 19,5 % (об.).

5. Встановлено зниження пористості в металополімерних покриттях: в композиції Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 з 13 до 7 %, в композиції СвАМг 5 – П-ЕП-219 з 10 до 4 %, при цьому теплопровідність композиції Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 знижується на 46 %, в порівнянні з покриттям із Св-08Г2С-О.

6. Встановлено, що в металокерамічних і металоскляних покриттях мікротвердість $\text{H}\mu_{50}$ і твердість HV_5 металевої матриці підвищується за рахунок створюваного додаткового наклепу відповідним наповнювачем. Мікротвердість $\text{H}\mu_{50}$ в металокерамічних покриттях зростає на 9 %, твердість HV_5 – 15 %. У металоскляних покриттях мікротвердість $\text{H}\mu_{50}$ зростає на 14 %, твердість HV_5 – 21 %.

7. Встановлено, що при введенні в електродугові покриття з Св-08Г2С-О 11 ± 3 % (об.) А-скла, міцність зчеплення з основою зростає з 28 МПа до 38 МПа, зносостійкість збільшується в порівнянні з литою бронзою БрАЖ 9-4 в 2,8 рази.

8. Визначено оптимальний режим передрекристалізаційної термічної обробки електродугових покриттів, що полягає в нагріванні до температури 500 °С, витримки протягом 1,5 хв. і подальшого охолодження на повітрі, який забезпечує підвищення властивостей за рахунок подрібнення субструктури в матеріалі покриття: твердості на 40 – 45 %, зносостійкості в 2 рази, зниження коефіцієнта теплопровідності на 35 %. Розробка захищена двома патентами.

9. Розроблені технологічні рекомендації для відновлення робочих поверхонь штоків гідроциліндрів шляхом нанесення композиційного електродугового металоскляного покриття, які впроваджені на підприємстві ТОВ «Нікспецсервіс», що дозволяє

знизити собівартість відновлення штоків на 30 % і витрати застосовуваних матеріалів при відновленні на 50 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА

1. *Дубовой, А. Н.* Исследование возможности напыления композиционного покрытия электродуговым методом [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2007. – № 5 (416). – С. 66 – 70.

2. *Казимиренко, Ю. А.* Формирование электродуговых покрытий, наполненных полыми стеклянными микросферами [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 1 (424). – С. 81 – 86.

3. *Казимиренко, Ю. А.* Исследование ослабления ионизирующего излучения композиционными материалами [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко, С. И. Шкурат, А. А. Жданов // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 2 (425). – С. 105 – 109.

4. *Дубовий, О. М.* Дослідження можливостей підвищення фізико-механічних властивостей деформованих металів і сплавів термічною обробкою [Текст] / О. М. Дубовий, Н. Ю. Лебедева, Т. А. Янковець, А. А. Карпеченко, О. О. Жданов // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2010. – № 3 (432) – С. 69 – 78.

5. *Карпеченко А. А.* Формирование металлокерамических и металлостеклянных покрытий электродуговым напылением [Текст] / А. А. Карпеченко // Автоматическая сварка. – 2011. – № 4 (696) – С. 31 – 34.

6. *Karpchenko, Anton.* Восстановление изношенных деталей методами газотермического напыления [Текст] / Anton Karpchenko, Vasul Muronov, Sergiu Shkyrat, Pavlo Polyansky // MOTROL. Commission of Motorization and Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch of Lublin Ropczyce School of Engineering and Management, – Lublin, 2008. – Vol. 10 B, – P. 264 – 267.

7. *Карпеченко, А. А.* Дослідження зносостійкості та міцності зчеплення металоскляного покриття, отриманого

електродуговим методом [Текст] / А. А. Карпеченко, В. О. Малихін // 36. наук. праць студентів НУК. – Миколаїв: НУК, 2011. – № 1 (4). – С. 3 – 6.

8. *Пат. 83603 Україна МПК (2006) C23C 4/00*. Пристрій для електродугового напилення [Текст] / О. М. Дубовий, А. А. Карпеченко, С. М. Шумов; заявник и патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № у 2007 07157, заявл. 25.06.2007; опубл. 25.07.2008, бюл. № 14.

9. *Пат. 88755 Україна МПК (2009) C23C 4/18*. Спосіб нанесення покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, А. А. Карпеченко, О. О. Жданов; заявник и патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № а 2009 02658, заявл. 23.03.2009; опубл. 10.11.2009, бюл. № 21.

10. *Пат. 30382 Україна МПК (2006) C23C 4/00*. Пристрій для електродугового напилення [Текст] / О. М. Дубовий, А. А. Карпеченко, С. М. Шумов; заявник и патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № у 2007 11882, заявл. 29.10.2007; опубл. 25.02.2008, бюл. № 4.

11. *Пат. 43984 Україна МПК (2009) C23C 4/00*. Спосіб нанесення електродугових покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, Т. А. Янковець, А. А. Карпеченко, О. О. Жданов; заявник и патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – № у 2009 03877, заявл. 21.04.2009; опубл. 10.09.2009, бюл. № 17.

12. *Дубовой, А. Н.* Исследование и модернизация электродугового металлатора для получения композиционных покрытий [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, науковців та фахівців «Суднова енергетика: стан та проблеми». – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 194 – 196.

13. *Дубовой, А. Н.* Получение композиционных покрытий электродуговым методом [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих науковців «Зварювання та споріднені процеси і технології». – Миколаїв: НУК, 2008. – С. 89 – 90.

14. *Дубовой, А. Н.* Электродуговое напыление композиционных покрытий [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Тез. станд. докл. «Сварка и родственные технологии в третье тысячелетие». / Ин-т электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины. – Киев, 2008. С. 202.

15. *Казимиренко, Ю. А.* Формирование электродуговых композиционных покрытий с неметаллическими включениями [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко // Материалы Двадцать девятой международной конференции и семинара 1 – 5 июня 2009 г. «Композиционные материалы в промышленности. Трубопроводы из полимерных композиционных материалов: изготовление, проектирование, строительство, эксплуатация». – Ялта – Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2009. – С. 342 – 343.

16. *Казимиренко, Ю. А.* Композиционные материалы для защиты от ионизирующих излучений [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко, С. И. Шкурят, А. А. Жданов // Материалы Двадцать девятой международной конференции и семинара 1 – 5 июня 2009 г. «Композиционные материалы в промышленности. Трубопроводы из полимерных композиционных материалов: изготовление, проектирование, строительство, эксплуатация». – Ялта – Киев: УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2009. – С. 339 – 341.

17. *Дубовий, О. М.* Новий спосіб підвищення фізико-механічних властивостей напиленних покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, А. А. Карпеченко, Т. А. Янковець, О. О. Жданов // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры сварочного производства НУК и 75-летию Института электросварки им. Е.О. Патона

«Проблемы сварки, родственных процессов и технологий» – Николаев: НУК, 2009. – С. 47.

18. *Дубовой, А. Н.* Нанесение металлокерамических покрытий электродуговым методом [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры сварочного производства НУК и 75-летию Института электросварки им. Е.О. Патона «Проблемы сварки, родственных процессов и технологий». – Николаев: НУК, 2009. – С. 48.

19. *Дубовой, А. Н.* Эффект повышения свойств напыленных покрытий и деформированных металлов и сплавов дорекристаллизационной обработкой [Текст] / А. Н. Дубовой, Н. Ю. Лебедева, Т. А. Янковец, А. А. Карпеченко // Материалы шестой международной конференции «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизация изделий». – Ялта, 2010. – С. 165.

20. *Дубовий, О. М.* Нові можливості підвищення фізико-механічних властивостей деформованих металів і сплавів термічною обробкою [Текст] / О. М. Дубовий, Н. Ю. Лебедева, Т. А. Янковец, А. А. Карпеченко, О. О. Жданов, В. О. Малихін // Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Нові матеріали та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів». – Запоріжжя, 2010. – С. 161 – 162.

21. *Дубовой, А. Н.* Получение композиционных покрытий электродуговым напылением [Текст] / А. Н. Дубовой, А. А. Карпеченко // Материалы II международной научно-технической конференции «Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития». – Краматорск, 2010. – С. 57 – 59.

22. *Карпеченко, А. А.* Способ формирования многокомпонентных электродуговых покрытий [Текст] / А. А. Карпеченко // «Макаровські читання». – Миколаїв. – 2011. – С. 32 – 34.

23. Дубовий, О. М. Новий спосіб деформаційно-термічної обробки металів і сплавів та напилених покриттів [Текст] / О. М. Дубовий, А. А. Карпеченко, О. О. Жданов, Т. А. Янковець, К. В. Овсяннікова // Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 20-річчю незалежності України «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 177 – 180.

24. Карпеченко, А. А. Новый способ формирования композиционных покрытий электродуговым напылением [Текст] / А. А. Карпеченко // Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 20-річчю незалежності України «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 180 – 183.

АНОТАЦІЯ

Карпеченко А.А. «Розробка технологічних основ наплення композиційних електродугових покриттів з використанням порошкових матеріалів». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки, молоді та спорту Україна, Миколаїв, 2012 р.

Дисертаційна робота присвячена розробці технологічних основ нанесення композиційних електродугових покриттів з застосування металевих дротів суцільного перерізу (на прикладі Св-08Г2С-О та СвАМг 5) і неметалевих порошків (на прикладі П-ЕП-219, Al_2O_3 , ZrO_2 , А-скла) та подальшої термічної обробки покриттів для підвищення їх експлуатаційних властивостей.

Для отримання композиційних покриттів, на підставі проведеного аналізу стану і перспектив розвитку електродугового методу наплення, проведених розрахунків швидкості і витрат потоку стиснутого повітря, що витікає з сопла, коефіцієнтів інжекції і геометричних параметрів

ежектора, вдосконалена конструкція розпилюючої голівки електродугового апарату ЕМ-14М.

За допомогою вдосконаленого електродугового апарату ЕМ-14М отримані наступні композиційні покриття: металополімерні з Св-08Г2С-О – П-ЕП-219 і СвАМг 5 – П-ЕП-219; металокерамічні з Св-08Г2С-О – Al_2O_3 і Св-08Г2С-О – ZrO_2 ; металоскляні з Св-08Г2С-О – А-скла. При попередньому виборі режимів напилення, за допомогою комп'ютерного металографічного аналізу, встановлено максимально досяжний вміст відповідного наповнювача в композиційних покриттях для вдосконаленого електродугового апарату.

У роботі отримані рівняння регресії, які дозволяють вибирати оптимальні параметри режиму напилювання металокерамічних і металоскляних покриттів для забезпечення їх заданого складу та експлуатаційних властивостей.

Встановлено, що в металокерамічних і металоскляних покриттях мікротвердість і твердість металевої матриці підвищується за рахунок створюваного додаткового наклепу відповідним наповнювачем.

Експериментально доведено, що при введенні в електродугові покриття з дроту Св-08Г2С-О 11 ± 3 % (об.) А-скла міцність зчеплення металоскляних покриттів підвищується з 28 до 38 МПа, зносостійкість збільшується в порівнянні з литою бронзою БрАЖ 9-4 в 2,8 рази.

Для подальшого підвищення експлуатаційних властивостей визначено оптимальний режим передрекristалізаційної термічної обробки електродугових покриттів, який призводить до підвищення твердості на 40 – 45%, збільшує зносостійкість покриттів в 1,9 рази і знижує коефіцієнт теплопровідності на 35 % за рахунок подрібнення субструктури в матеріалі покриття.

Результати досліджень впроваджені на підприємстві ТОВ «Нікспецсервіс» і використовуються для відновлення деталей гідравлічного обладнання шляхом нанесення металоскляних

електродугових покриттів на робочі поверхні штоків гідроциліндрів.

Ключові слова: електродугове напилення, композиційні металополімерні, металокерамічні, металоскляні покриття, зносостійкість, фізико-механічні властивості, міцність зчеплення, термічна обробка, відновлення електродуговим напиленням.

АННОТАЦИЯ

Карпеченко А.А. «Разработка технологических основ напыления композиционных электродуговых покрытий с использованием порошковых материалов». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.06 – Сварка и родственные процессы и технологии. Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Николаев, 2012 г.

Диссертационная работа посвящена разработке технологических основ нанесения композиционных электродуговых покрытий с применением металлических проволок сплошного сечения (на примере Св-08Г2С-О и СвАМг 5) и неметаллических порошков (на примере П-ЭП-219, Al_2O_3 , ZrO_2 , А-стекла), последующей термической обработки покрытий для дальнейшего повышения их эксплуатационных свойств.

Для получения композиционных покрытий, на основании проведенного анализа состояния и перспектив развития электродугового метода напыления, проведенных расчетов скорости и расхода потока сжатого воздуха, истекающего из сопла, коэффициентов инжекции и геометрических параметров эжектора, усовершенствована конструкция распылительной головки электродугового аппарата ЭМ-14М.

С помощью усовершенствованного электродугового аппарата ЭМ-14М получены следующие композиционные

покрытия: металлополимерные из Св-08Г2С-О – П-ЭП-219 и СвАМг 5 – П-ЭП-219; металлокерамические из Св-08Г2С-О – Al_2O_3 и Св-08Г2С-О – ZrO_2 ; металлостеклянные из Св-08Г2С-О – А-стекло. При предварительном выборе режимов напыления, с помощью компьютерного металлографического анализа, установлено максимально достижимое содержание соответствующего наполнителя в композиционных покрытиях для усовершенствованного электродугового аппарата.

В работе рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие выбирать оптимальные параметры режима напыления металлокерамических и металлостеклянных покрытий для обеспечения их заданного состава и эксплуатационных свойств.

Установлено, что в металлокерамических и металлостеклянных покрытиях микротвердость и твердость металлической матрицы повышается за счет создаваемого дополнительного наклепа соответствующим наполнителем.

Экспериментально доказано, что при введении в электродуговое покрытие из проволоки Св-08Г2С-О $11 \pm 3 \%$ (об.) А-стекла прочность сцепления металлостеклянных покрытий повышается с 28 до 38 МПа, износостойкость увеличивается по сравнению с литой бронзой БрАЖ 9-4 в 2,8 раза.

Для дальнейшего повышения эксплуатационных свойств определен оптимальный режим предрекристаллизационной термической обработки электродуговых покрытий, который приводит к повышению твердости на 40 – 45 %, увеличивает износостойкость покрытий в 1,9 раза и снижает коэффициент теплопроводности на 35 % за счет измельчения субструктуры в материале покрытия.

Результаты исследований внедрены на предприятии ООО «Никспецсервис» и используются для восстановления деталей гидравлического оборудования путем нанесения металлостеклянных электродуговых покрытий на рабочие поверхности штоков гидроцилиндров.

Ключевые слова: электродуговое напыление, композиционные металлополимерные, металлокерамические, металlostеклянные покрытия, износостойкость, физико-механические свойства, прочность сцепления, термическая обработка, восстановление электродуговым напылением.

ABSTRACT

Karpechenko A. A. «Development of technological bases of electric-arc spraying of composite coatings with using of powders» – Manuscript.

Dissertation is for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.03.06 – Welding and related processes and technologies. National Shipbuilding University of admiral Makarov of Ministry of Education, Youth and Sports of Ukraine, Nikolaev, 2012.

Thesis is devoted to the development of technological foundations of applying electric-arc composite coatings using of metal solid wire (for example, СВ-08Г2С-О and СВАМг 5) and non-metallic powders (for example, П-ЭП-219, Al_2O_3 , ZrO_2 , A-glass); to the development of subsequent heat treatment of coatings for further increase of their service properties.

To obtain composite coatings, based on analysis of the state and prospects of development of electric-arc spraying method, on the calculations of speed and flow rate of compressed air escaping from the nozzle, of the injection efficiency and geometrical parameters of ejector design was improved arc-spray head unit ЭМ-14М.

The following composite coatings were obtained with the help of advanced electric-arc ЭМ-14М: metal polymer coatings from СВ-08Г2С-О – П-ЭП-219 and СВАМг 5 – П-ЭП-219; metal ceramics coating from СВ-08Г2С-О – Al_2O_3 and СВ-08Г2С-О – ZrO_2 ; metal glass coatings from СВ-08Г2С-О – A-glass. In a preliminary choice of deposition modes, the maximum attainable content of the respective filler in the composite coatings for advanced electric-vehicle was determined with the help of computer metallographic analysis.

Regression equations are intended in the work and its allow to choose the optimal options of the spraying mode of metal ceramics and metal glass coatings to ensure specified composition and service properties.

It is established that microhardness and hardness of metal matrix of metal-ceramics and metal-glass coating increases due to additional cold deformation, which is created by the appropriate filler.

Experimentally proved that metal bonding strength of coatings increases from 28 to 38 MPa, the wear resistance increases comparison to the cast bronze БрАЖ 9-4 in 2,8 times when A-glass injected into electric arc coatings from wire СБ-08Г2С-О $11 \pm 3 \%$ (v).

Optimal mode of the pre recrystallization heat treatment of electric arc coatings was defined to further improve the service properties, which increases the hardness by 40 – 45 %, increases the wear resistance of coatings in a 1,5 times and reduces the thermal conductivity by 35 % due to the crushing of the substructure in the coating.

Results of researches have been implemented in the company ООО «Никспецсервис» and are used to recovery parts of hydraulic equipment by applying metal-glass electric-arc coatings to the working surface of piston rods of hydraulic cylinders.

Key words: electric-arc spraying, composite metal polymer, metal-ceramics, metal-glass coatings, wear resistance, mechanical properties, adhesive strength, heat treatment, recovery by electric-arc spraying.