

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

КУСТОВ ВІКТОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.91:621.793.7:621.9.048

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ФОРМУВАННЯМ
КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ**

05.02.08 – технологія машинобудування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2015

Дисертація на правах рукопису

Роботу виконано на кафедрі технології нафтогазового машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, доцент
Роп'як Любомир Ярославович,
Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу,
доцент кафедри технології нафтогазового
машинобудування

Офіційні опоненти: лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки,
доктор технічних наук, професор
Антонюк Віктор Степанович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
професор кафедри виробництва приладів

доктор технічних наук, професор
Гурей Ігор Володимирович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри технології машинобудування

Захист відбудеться « 02 » вересня 2015 р. об 11⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.03 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, корп. 2, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий « 31 » липня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Дячун А. Є.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У машинобудуванні як в Україні так і за кордоном, в останні роки склалась тенденція до широкого використання композиційних покриттів для підвищення надійності та довговічності деталей машин. Для деталей бурового і нафтогазопромислового обладнання, яке експлуатується в складних умовах, характерним є значна втрата лінійних розмірів у результаті зношування. Тому в процесі їх виготовлення або відновлення застосовують газотермічні покриття. Отримання покриттів електродуговою металізацією є технологічно більш простим, дешевим і високопродуктивним. Проте застосування суцільних дротів, як електродних матеріалів, не забезпечує одержання широкої гами композиційних покриттів із необхідними характеристиками та обмежує область його застосування. Використання порошкових дротів дає можливість одержувати різноманітні композиційні покриття з високою зносостійкістю. Однак їх складно обробляти різанням, в процесі якого частина вартісного шару покриття переходить в стружку. Подальшим кроком зі створення зносостійких композиційних покриттів електродуговим напиленням може бути поєднання його з іншим методом поверхневого зміцнення. Великі можливості в цьому напрямку відкриває комбінація електродугового напилення та віброелектроіскрового легування. За рахунок сполучення в даному комплексному методі механізмів зміцнення різної природи – напилення та поверхневого легування – забезпечиться формування композиційного покриття з покращеними властивостями. Тому розроблення комплексного методу формування композиційних покриттів для підвищення якості поверхонь деталей є актуальним і має важливе як наукове так і практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), є складовою частиною наукової тематики кафедри технології нафтогазового машинобудування ІФНТУНГ і базується на результатах держбюджетних тем: «Науково-прикладні основи розробки технологічного забезпечення виробництва та надійності нафтогазового і металорізального обладнання» (2010 – 2015 рр.) і «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» на 2011–2016 рр. (номер державної реєстрації 0111U005890).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розроблення комплексного методу формування якості поверхонь деталей типу тіл обертання в процесі виготовлення для підвищення їх експлуатаційних властивостей з одночасним зниженням затрат на зміцнення.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз умов роботи деталей типу тіл обертання бурового і нафтогазопромислового обладнання, існуючих технологічних процесів, конструкцій технологічного обладнання для зміцнення і обґрунтувати доцільність використання комплексного методу, який базується на комбінації технології

електродугового напилення композиційних покриттів і віброелектроіскрового легування.

2. Розробити математичну модель процесу електродугового напилення композиційних покриттів із матеріалу суцільних дротів і частинок порошку, які вводять із живильника в металоповітряний потік, дослідити параметри руху і температуру частинок порошку для забезпечення формування композиційних покриттів та ймовірно-математичну модель процесу віброелектроіскрового легування.

3. Розробити ефективний груповий технологічний процес формування композиційних покриттів поєднанням електродугового напилення та віброелектроіскрового легування, спроектувати і виготовити функціонально придатне лабораторне технологічне обладнання та оснащення і систему автоматизованого керування технологічними параметрами.

4. Дослідити вплив технологічних параметрів процесу формування композиційних покриттів комплексним методом на показники якості зміцнених поверхонь, оцінити точність механічної обробки деталей з покриттями та їх шорсткість.

5. Оцінити електрохімічним методом роботоздатність композиційних покриттів за різних видів навантаження.

6. Експериментально дослідити вплив параметрів технологічного процесу зміцнення комплексним методом на експлуатаційні властивості деталей типу тіл обертання.

7. Розробити конструкцію і виготовити дослідно-промислову установку для формування композиційних покриттів комплексним методом, провести стендові та промислові випробовування деталей і впровадити результати досліджень у виробництво та навчальний процес.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу тіл обертання зі зміцненням комплексним методом їх робочих поверхонь поєднанням електродугового напилення та віброелектроіскрового легування.

Предмет дослідження – зміцнення зовнішніх циліндричних поверхонь деталей типу тіл обертання електродуговим напиленням композиційного покриття та віброелектроіскровим легуванням і технологічне забезпечення показників якості наступною механічною обробкою.

Методи дослідження. В основу досліджень покладено фундаментальні засади технології машинобудування, теорії різання, механіки, а також математичне і комп'ютерне моделювання. Результати експериментальних досліджень одержано за допомогою спеціально розробленого технологічного обладнання та оснащення, а також з використанням сучасних методик металографії, мікроелектрохімічних досліджень, випробовувань на зношування.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у подальшому розвитку науково-прикладних основ технологічних процесів формування композиційних покриттів комплексним методом. При цьому:

– набуло подальшого розвитку теоретичне обґрунтування заміни порошкових дротів на суцільні з введенням частинок порошку із живильника в ме-

талоповітряний потік при електродуговому напиленні композиційних покриттів;

- вперше розроблено математичну модель процесу електродугового напилення композиційних покриттів із матеріалу суцільних дротів та частинок порошку, які вводять із живильника у металоповітряний потік, що дозволило визначити технологічні параметри для забезпечення нагрівання та потрапляння частинок порошку в центр зони напилення;

- вперше розроблено комплексний метод поверхневого зміцнення деталей машин, згідно з яким шляхом поєднання електродугового напилення та віброелектроіскрового легування формують композиційні покриття із заданими експлуатаційними властивостями;

- вперше встановлено, що при точінні напилених покриттів із суцільних дротів за певної глибини зрізаного шару отримується оброблена поверхня з мінімальною шорсткістю, розміщення якої залежить від загальної товщини покриття. Вказана особливість характерна і для двошарових покриттів, що складаються з робочого композиційного шару, напиленого із матеріалу дротів і порошоків, та верхнього технологічного шару із матеріалу дротів, який піддається механічній обробці. Поверхня з мінімальною шорсткістю для цих покриттів розташована ближче до зовнішньої поверхні, ніж для одношарових;

- експериментально обґрунтовано вплив технологічних параметрів формування композиційних покриттів комплексним методом на зміну геометричних розмірів і шорсткості поверхні деталей.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено і впроваджено технологічні процеси виготовлення нових і відновлення зношених деталей машин комплексним методом, який поєднує електродугове напилення покриттів з суцільних дротів і частинок порошку, які вводять із живильника в металоповітряний потік, та віброелектроіскрове легування, що вирішує питання підвищення якості поверхонь та зниження затрат на зміцнення. Модернізовано установку для віброелектроіскрового легування, розроблено конструкції:

- установки для електродугового напилення композиційних покриттів з подачею частинок порошку в металоповітряний потік із живильника з системою автоматизованого керування технологічними параметрами процесу;

- дослідно-промислової установки для формування композиційних покриттів комплексним методом.

Розроблено технологічний процес віброелектроіскрового легування нікелем гранул твердого сплаву, який використовується для формування зносостійких породоруйнівних елементів бурових доліт.

Технічну новизну розробок захищено 3-ма авторськими свідоцтвами та 3-ма патентами на винаходи.

Розроблену технологію формування композиційних покриттів комплексним методом на деталях типу тіл обертання передано і впроваджено у виробництво в ТзОВ МНВЦ «Епсілон ЛТД» і ТзОВ «Нафтогазтехнологія» (м. Івано-Франківськ). За результатами стендових випробовувань захисних втулок валів

відцентрових насосів встановлено підвищення їх ресурсу роботи в 1,5 рази порівняно із серійними. Промислові випробовування бурових замків показали підвищення терміну експлуатації в 1,4 рази порівняно із серійними.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст за спеціальністю 7.05050201 – «Технології машинобудування» під час викладання дисциплін «Технологія машинобудування», «Технологічні методи зміцнення», «Обладнання і транспорт механообробних цехів» в Інституті інженерної механіки ІФНТУНГ.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати роботи отримано автором самостійно [2, 5]. Здобувачем розроблено комплексний метод формування композиційних покриттів для підвищення якості поверхонь деталей. У працях, що написані у співавторстві, авторові належить: експериментальне дослідження рівня шуму при електродуговому напиленні [1], теоретичне дослідження зміни швидкості при напиленні композиційних покриттів [3], теоретичне дослідження впливу співвідношення площі одиночного розряду до площі поверхні, яка зміцнюється [4], формулювання розрахункової схеми для визначення швидкостей частинок порошку [6], постановка задачі та дослідження впливу технологічних параметрів віброелектроіскрового легування на зміну розмірів зразків і шорсткості їх поверхні [7], обґрунтування вибору армуючих гранул і проведення математичного планування експерименту [9]. Постановка задач, аналіз та обговорення результатів досліджень проведено спільно з науковим керівником та частково із співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були заслухані, обговорені та отримали схвалення на: Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми і шляхи енергозабезпечення України» (м. Івано-Франківськ, 1993 р.), Конф. професорсько-викладацького складу інституту нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1996 р.), VII Міжн. наук.-практ. конф. «Наука і освіта '2004'», (м. Дніпропетровськ, 2004 р.), Міжнар. наук.-техн. конф. «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці «ІФНТУНГ-40»» (м. Івано-Франківськ, 2007 р.), V Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Київ, 2010 р.), Міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2010 р.), VII Междунар. науч.-техн. конф. «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта» (г. Новополюк, 2011 р.), XII Всеукр. молод. наук.-техн. конф. «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (м. Київ, 2012 р.), Виставці «Інтелектуальний продукт вчених, винахідників і раціоналізаторів Прикарпаття» (м. Івано-Франківськ, 2011 р.), III Всеукр. наук.-техн. конф. «Прогресивні технології в машинобудуванні» (м. Львів, 2015 р.). У повному обсязі робота доповідалась і отримала позитивний відгук на розширених наукових семінарах кафедр технології нафтогазового машинобудування і комп'ютеризованого машинобудівного виробництва ІФНТУНГ (2015 р.), розширеному науково-технічному семінарі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (2015 р.) та науково-технічному семінарі

кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (2015 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 28 наукових праць, серед них: 9 статей у провідних фахових виданнях, два з яких входять до міжнародних наукометричних баз даних: «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLibrary», «Index Copernicus», «Polisch Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor», «Scientific Indexing Services»; «Scopus», 3 авторських свідоцтва, 1 деклараційний патент, 1 патент на винахід, 1 патент на корисну модель, 1 авторське право на комп'ютерну програму, 12 тез Всеукраїнських і міжнародних наук.-техн. конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел, який налічує 147 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи становить 167 сторінок, в тому числі 51 рисунок, 14 таблиць і 8-х додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, подано загальну характеристику роботи, сформульовано її мету, основні задачі та наукову новизну дослідження. Викладено практичну цінність отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

В першому розділі наведено короткий аналіз умов роботи деталей бурового і нафтогазопромислового обладнання та причин виходу їх з ладу. Під час експлуатації таких деталей в складних умовах (агресивні середовища, які містять абразивні частинки) відбувається пошкодження робочих поверхонь та значна втрата їх лінійних розмірів, що призводить до виходу з ладу вузлів тертя. Тому для підвищення зносостійкості деталей машин застосовують різні методи поверхневого зміцнення, серед яких на особливу увагу заслуговують методи газотермічного напилення покриттів завдяки їх технологічності та універсальності.

Проведено аналіз технологій та обладнання відомих світових виробників (Metco, Castolin, TAFA, Nanosteel, Плазма-Текнік АІ) та вітчизняних (Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона НАНУ і Фізико-механічний інститут імені Г. В. Карпенка НАНУ). Відзначено, що розробці та дослідженню процесів формування покриттів, в тому числі композиційних, отриманих комплексними методами, присвячені праці Ю. М. Внукова, В. М. Голубця, М. В. Кіндрачука, В. В. Кудінова, В. Д. Кузнецова, М. В. Лучки, В. М. Пашечка, В. І. Похмурського, Ч. В. Пульки, В. І. Савуляка, М. М. Студента та інших, а процесам механічної обробки – С. А. Клименка, О. М. Пилипенка, Л. Г. Полонського, Ю. А. Харламова та інших.

Встановлено, що ефективність застосування газотермічного напилення покриттів суттєво підсилюється, коли вони входять в склад комплексних методів, заснованих на комбінації з іншими способами поверхневого зміцнення деталей. Для покращення показників якості напилених покриттів застосовують низку технологічних методів. Серед них вигідно вирізняється електроіскрове

легування, яке дозволяє збільшити міцність зчеплення покриття з основою, а також перспективним є застосування цього методу для поверхневого легування покриттів. Результати проведеного патентного пошуку також вказують на перспективність таких досліджень.

На основі проведеного критичного аналізу відомих технологій нанесення композиційних покриттів комплексними методами сформульовано мету та задачі роботи.

Другий розділ присвячено теоретичному обґрунтуванню технологічних параметрів формування композиційних покриттів поєднанням електродугового напилення з використанням суцільних дротів і введенням частинок порошку із живильника в металоповітряний потік та віброелектроіскрового легування.

При електродуговій металізації для формування композиційних покриттів, ведення частинок порошку в конус металоповітряного струменя здійснюється у радіальному напрямку. За таких умов задача володіє осьовою симетрією і рух частинки відбувається у площині, яка проходить через вісь сопла електродугового металізатора та дозуючої трубки порошкового живильника і характеризується двома координатами (рис. 1). При цьому вважали, що частинки порошку рухаються під дією власної ваги G і сили аеродинамічного опору $F_{\text{оп}}$. Всі інші сили, що можуть виникати у процесі руху частинки порошку, наприклад за рахунок нерівномірного розподілу градієнтів тиску та швидкості струменя повітря, запізнення відклику середовища на зміну її швидкості, вважаються такими, що мають незначний вплив унаслідок малості часу руху та розмірів цієї частинки.

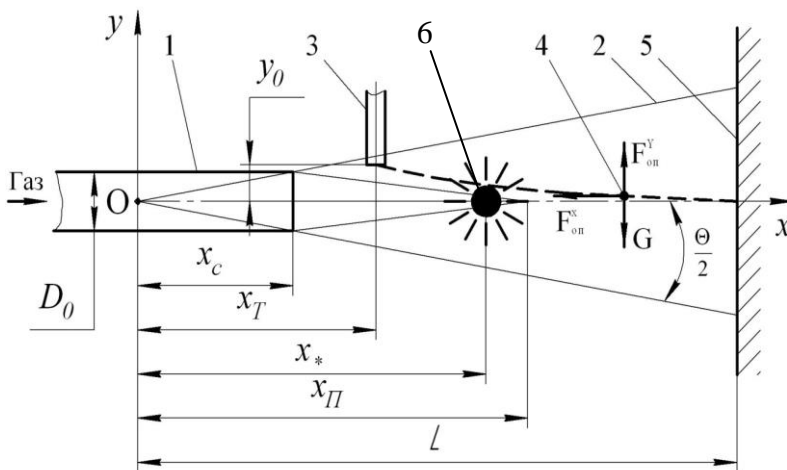


Рис. 1. Розрахункова схема введення частинок порошку в металоповітряний потік при електродуговому напиленні композиційних покриттів:

1 – сопло; 2 – металоповітряний потік; 3 – дозуюча трубка живильника; 4 – частинка порошку; 5 – поверхня, на яку напилюють покриття; 6 – електрична дуга (точкове джерело тепла)

Для опису руху та нагрівання частинок порошку в струмені газу в рамках прийнятих припущень отримали систему диференціальних рівнянь

$$m_p \frac{d\vec{V}_p}{dt} = \frac{1}{2} C_d S_{mid} \rho_g |\vec{V}_g - \vec{V}_p| (\vec{V}_g - \vec{V}_p) + m_p \vec{g}; \quad c_p m_p \frac{dT_p}{dt} = \alpha_p S_{surf} (T_g - T_p), \quad (1)$$

де m_p – маса частинки порошку, кг; V_p – швидкість частинки порошку, м/с; V_g – швидкість струменя розпилюючого газу, м/с; T_p – температура частинки порошку, °C; T_g – температура струменя розпилюючого газу, °C; ρ_g – густина га-

зу, кг/м^3 ; c_p – питома теплоємність матеріалу частинки порошку, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$; d_p , r_p – діаметр та радіус сферичної частинки порошку відповідно, м; S_{mid} – площа міделевого січення частинки порошку, м^2 .

Коефіцієнт лобового опору частинки порошку C_d та її коефіцієнт тепло-віддачі α_p визначали із критеріальних співвідношень

$$C_d = \frac{24}{\text{Re}} \left(1 + 0,15 \text{Re}^{0,687} \right), \quad \alpha_p = \text{Nu} \frac{\lambda_g}{d_p};$$

$$\text{Re} = \frac{\rho_g d_p |\vec{V}_g - \vec{V}_p|}{\mu_g}, \quad \text{Nu} = 2 + 0,6 \text{Re}^{1/2} \text{Pr}^{1/3}, \quad \text{Pr} = \frac{\mu_g c_g}{\lambda_g}.$$

Тут Re , Nu , Pr – числа Рейнольдса, Нуссельта та Прандтля відповідно; μ_g – коефіцієнт динамічної в'язкості газу, $\text{Па}\cdot\text{с}$; λ_g – коефіцієнт теплопровідності газу, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; c_g – питома теплоємність газу, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$. $S_{surf} = \pi d_p^2$ – площа поверхні, $S_{mid} = \pi d_p^2 / 4$ – площа міделевого січення, $m_p = \pi d_p^3 \rho_p / 6$ – маса частинки порошку сферичної форми відповідно.

Числовий розв'язок системи нелінійних рівнянь (1) з початковими умовами

$$V_{p,x}|_{t=0} = V_{p,x}^0, \quad V_{p,y}|_{t=0} = V_{p,y}^0, \quad x_p|_{t=0} = x_p^0, \quad y_p|_{t=0} = y_p^0, \quad T_p|_{t=0} = T_p^0,$$

отримали за допомогою алгоритму Рунге-Кутта 4-го порядку. Обчислення проводили для частинок порошку з таких матеріалів: алюміній, титан, карбід титану, молібден, карбід вольфраму середньої грануляції ($d_p = 50 \cdot 10^{-6}$ м), за початкових умов: $x_0 = 0,01$ м, $y_0 = 0,002$ м, $V_{px}^0 = 0$ м/с, $V_{py}^0 = 0,5$ м/с і значень фізичних параметрів повітряного струменя: $V_{gx}^0 = 150$ м/с, $T_p^0 = T_H = 20$ $^\circ\text{C}$, $\rho_g = 0,277$ кг/м^3 , $\mu_g = 49 \cdot 10^{-6}$ $\text{Н}\cdot\text{с/м}^2$, $\lambda_g = 8,07 \cdot 10^{-2}$ $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, $c_g = 1,185 \cdot 10^3$ $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$.

Розрахунок температури частинок порошку вздовж напрямку горизонтального переміщення (рис. 2) здійснювали виходячи з умови, щоб максимальна температура нагріву не перевищувала температуру їх плавлення.

Траєкторії руху частинок порошку різних матеріалів, які розраховані за однакових початкових умов руху, зображено на рис. 3. Для забезпечення попадання основної маси частинок порошку в центр області напилення, для кожного матеріалу підбрано початкові умови введення частинок у металоповітряний потік. Особливістю такого підбору є те, що у неоднорідному полі швидкостей вигляд траєкторій руху залежатиме також і від місця введення частинок порошку в металоповітряний потік.

Оптимальні режими, наприклад, за дистанції напилення $L = 0,15$ м для введення частинок порошку вибраних матеріалів та прийнятих фізичних величин у задачі наведено у таблиці 1.

Результати ймовірно-математичного моделювання процесу віброелектроіскрового легування представлені на рис. 4. Встановлено, що із збільшенням площі одиночного іскрового розряду відбувається легування поверхні деталі при меншій кількості імпульсів розрядів.

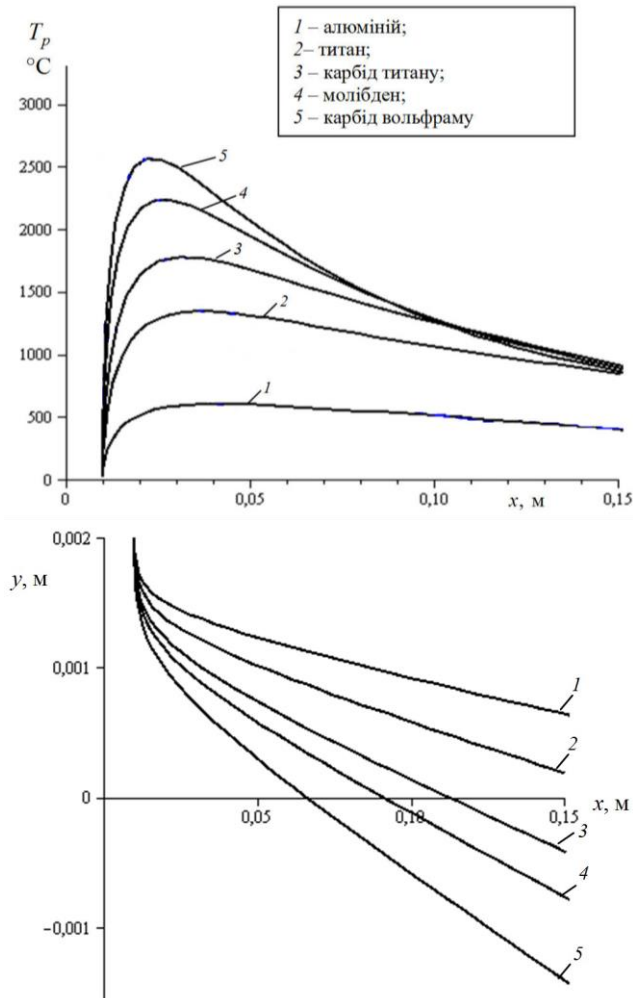


Рис. 2. Зміна температури частинок порошку вздовж траєкторій руху при електродуговому напиленні композиційних покриттів із різних матеріалів

Рис. 3. Траєкторії руху частинок порошку із різних матеріалів ($x_p^0 = 0,01$ м, $y_p^0 = 0,002$ м, $V_{px}^0 = 0$ м/с, $V_{py}^0 = 0,5$ м/с):

- 1 – алюміній;
2 – титан;
3 – карбід титану;
4 – молібден;
5 – карбід вольфраму

Таблиця 1

Режими введення частинок порошку в металоповітряний потік для формування композиційних покриттів

Умови введення \ Матеріал порошку	Алюміній	Титан	Молібден	Карбід титану	Карбід вольфраму
Координати введення ($x_p^0; y_p^0$), м	(0,01; 0,002)	(0,01; 0,002)	(0,01; 0,015)	(0,01; 0,015)	(0,01; 0,001)
Швидкість введення V_{py}^0 , м/с	0,8	0,6	0,25	0,20	0,15

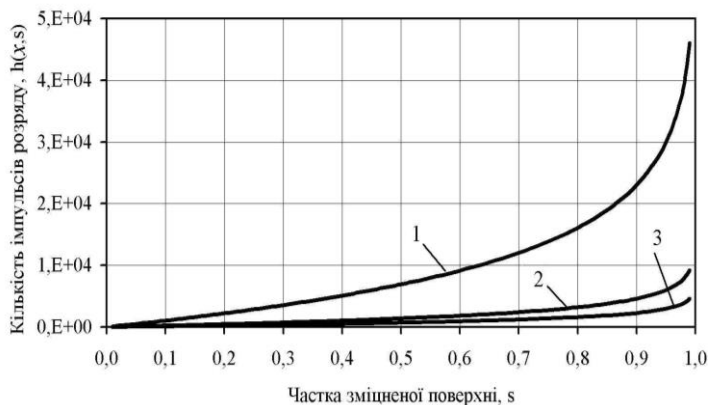


Рис. 4. Графік визначення кількості імпульсів іскрового розряду, які забезпечують зміцнення відповідної частки поверхні при заданій площі імпульсу розряду, кв. од.:

- 1 – $x_1 = 0,0001$; 2 – $x_2 = 0,0005$;
3 – $x_3 = 0,001$

У третьому розділі розроблено технологію та установку для електродугового напилення композиційних покриттів, модернізовано установку для віброелектроіскрового легування, вибрано матеріали та методики досліджень.

Для нанесення композиційних покриттів електродуговим методом із використанням суцільних дротів та порошків розроблена установка (А. с. 788503, Пат. 40784). Установка містить (рис. 5): електродуговий металізатор ЕМ-6, споряджений порошковим живильником, системою подачі стисненого повітря, системою живлення електричним струмом та системою автоматизованого керування технологічними параметрами напилення; токарний верстат ТВ-16 для обертання деталі та переміщення металізатора; систему витяжної вентиляції.

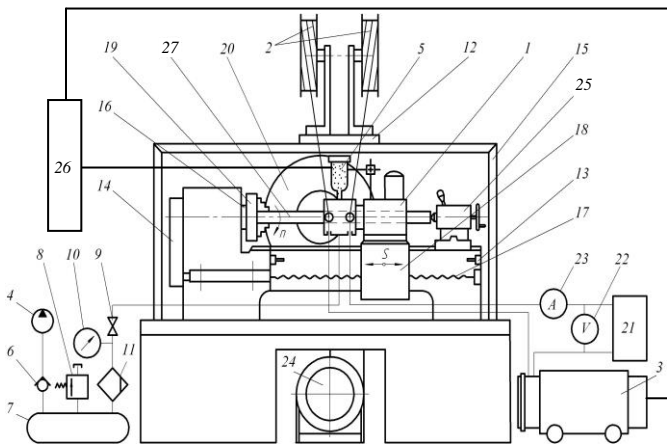


Рис. 5. Схема установки для напилення композиційних покриттів:

1 – електродуговий металізатор; 2 – котушка для дротів; 3 – джерело струму; 4 – компресор; 5 – порошковий живильник; 6 – зворотній клапан; 7 – ресивер; 8 – запобіжний клапан; 9 – розподільчий кран; 10 – манометр; 11 – маслорозподільник; 12 – підставка для бобін; 13 – кінцевий вимикач; 14 – гідра передача змінних зубчастих коліс; 15 – захисний кожух; 16 – шпindel; 17 – ходовий гвинт; 18 – супорт; 19 – трикулачковий патрон; 20 – витяжний канал; 21 – баластний реостат; 22 – вольтметр; 23 – амперметр; 24 – вентилятор; 25 – задня бабка; 26 – система автоматизованого керування; 27 – деталь

Композиційні покриття напиляли із матеріалу суцільних дротів діаметром 2 мм (сталь СВ08А, сталь 45, 40Х) і подачею із живильника поришків з розміром частинок 40...100 мкм у металоповітряний потік. Матеріал порошків: титан, молибден, карбід титану, карбід вольфраму. Режими напилення: струм $I = 40 \dots 500$ А, напруга дуги $U = 20 \dots 44$ В, тиск повітря $P = 0,4 \dots 0,6$ МПа, дистанція напилення $L = 50 \dots 150$ мм.

Також було модернізовано установку для віброелектроіскрового легування (Пат. 67165), яка використовувалась як для підготовки поверхні перед напиленням композиційних покриттів так і для зміцнення верхнього технологічного шару напиленого покриття після механічної обробки. Віброелектроіскрове легування використовувалось для нанесення нікелю на поверхню гранул твердого сплаву, який застосовувався для об'ємного і поверхневого армування породоруйнівних елементів бурових доліт. Матеріал зразків: сталь 45, 40Х, 40ХН. Механічну обробку зразків проводили на токарно-гвинторізних верстатах 1А616, 16К20, 16К20Ф3 різцями з твердосплавними пластинами.

Трибологічні дослідження проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою диск – колодка. Рівень допустимих напружень в зразках з покриттями визначали електрохімічним методом при розтягуванні та крученні в електроліті. Мікроелектрохімічні вимірювання проводили на мікрошліфах зразків з покриттями з використанням удосконаленого мікроелектрода (Пат. 39303). Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3, а шорсткість поверхні на профілографі-

профілометрі 201. Пористість покриттів визначали планіметричним методом. Міцність зчеплення покриття з основою визначали: на зріз; штифтовим методом при нормальному відриві. Структуру і хімічний склад покриттів досліджували на електронному мікроскопі EVO-40 XVP (Carl Zeiss).

В четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів процесу формування композиційних покриттів комплексним методом на показники їх якості, а також визначено мінімальну шорсткість та проведено аналіз точності механічної обробки деталей з покриттями.

Для формування композиційних покриттів комплексним методом досліджено вплив технологічних режимів електродугового напилення (I, U, L) – суцільні дроти та різна концентрація частинок порошку (Ti, Mo, TiC, WC), які вводили із живильника у металоповітряний потік на властивості композиційних покриттів: міцність зчеплення з основою, рівень залишкових напружень. Встановлено, що із збільшенням сили струму та напруги на дузі міцність зчеплення зменшується. Збільшення дистанції напилення призводить спочатку до зростання міцності зчеплення з основою, досягаючи деякого максимального значення, після чого починає зменшуватися. Збільшення концентрації частинок порошку Ti, Mo до 23 % призводить до нестабільного горіння дуги між дротами-електродами із алюмінію, тому подальші дослідження проводили за концентрації 20...22 %; із таких же міркувань для частинок TiC, WC була прийнята концентрація на рівні 17 % в композиціях з матрицею зі сталевих дротів. Слід зазначити, що введення частинок порошків до складу композиційного напиленого покриття призводить до зростання міцності зчеплення з основою на 8...10 %. Випробовування на знос композиційних покриттів при терті за схемою диск – колодка показали збільшення зносостійкості для TiC – в 1,4 рази, а для WC – в 1,3 рази порівняно із покриттями отриманими зі сталевих дротів. Після вибору раціональних технологічних параметрів напилення композиційних покриттів вивчали вплив режимів віброелектроіскрового легування на властивості цих покриттів: міцність зчеплення з основою, зміну ваги, діаметра, шорсткості та мікротвердості. Як матеріал для електроіскрового легування сталеві основи (підготовка поверхні) використовували Mo, а напиленого покриття – гранули твердих сплавів T15K6 і BK8, оскільки порошки TiC, WC входили в склад напилених композиційних покриттів. Встановлено, що легування сталеві основи молібденом забезпечує збільшення міцності зчеплення композиційного покриття на 18 %.

Результати проведених порівняльних досліджень показали, що на початковій стадії віброелектроіскрового легування (ВЕІЛ) відбувається зростання ваги ΔG , діаметра ΔD та шорсткості R_a зразків, виготовлених як із суцільного матеріалу, так і з напиленими покриттями. У подальшому збільшення тривалості обробки призводить до зменшення ваги, діаметра і шорсткості зразків, а після деякого часу легування діаметр ΔD та шорсткість R_a стабілізуються, а вага змінюється. Встановлено, що збільшення напруги розряду накопичувальної ємності конденсаторної батареї призводить до зростання енергії розряду і, відповідно,

до збільшення ваги ΔG і діаметра зразка ΔD , а також шорсткості R_a поверхні покриття при обробці в середовищі гранул твердих сплавів Т15К6 і ВК8. Тенденція до зміни маси, діаметра зразків та їх шорсткості при збільшенні ємності конденсаторної батареї аналогічна зміні цих показників при зростанні напруги початку розряду (рис. 6).

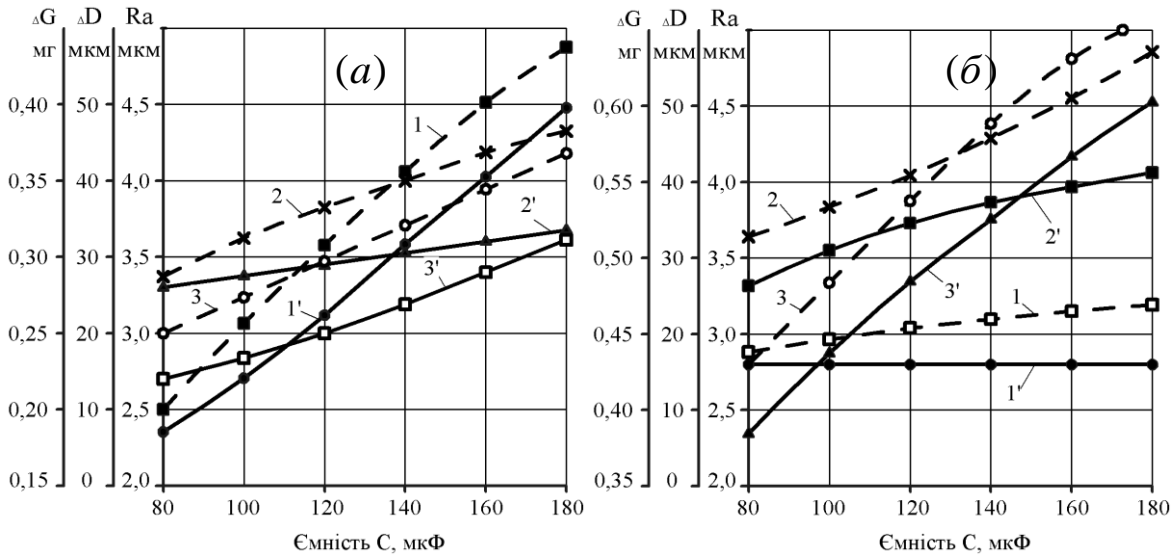


Рис. 6. Зміна ваги ΔG (1, 1'), діаметра ΔD (2, 2') та шорсткості R_a (3, 3') залежно від величини ємності конденсаторної батареї при ВЕІЛ в середовищі гранул твердого сплаву Т15К6 (а) і ВК8 (б):

1, 2, 3 – суцільний матеріал зразка; 1', 2', 3' – зразок з напиленим покриттям

Встановлено глибину залягання обробленої поверхні з мінімальною шорсткістю для покриттів: робочий композиційний шар напилений із матеріалу дротів і порошків, а верхній технологічний шар – із матеріалу дротів, а також для одношарових покриттів, напилених тільки з матеріалу дротів (рис. 7, а) та зміну цієї глибини залежно від загальної товщини покриттів (рис. 7, б).

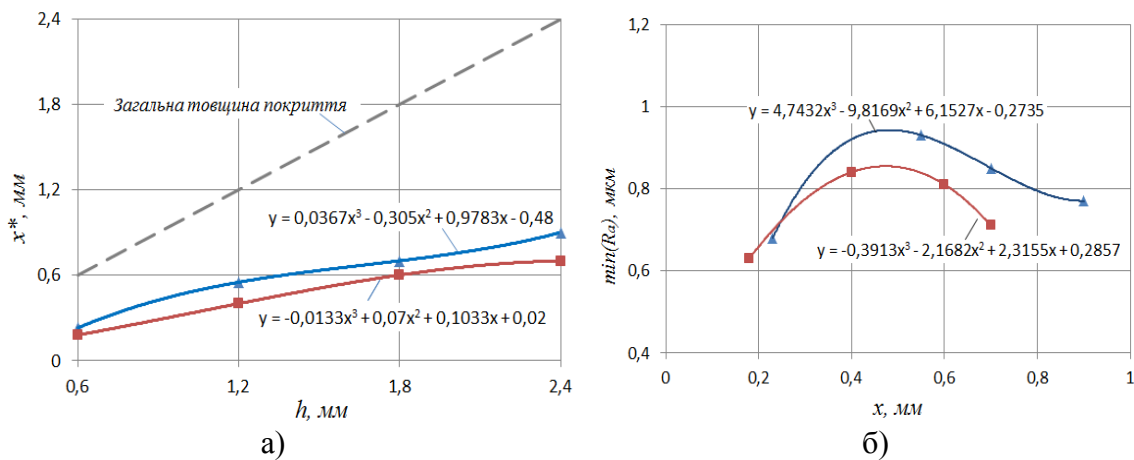


Рис. 7. Залежність величини оптимального припуску x^* для покриттів різної товщини (а) та значення мінімальної шорсткості для припусків на обробку покриттів відповідних товщин (б): трикутні маркери – напилене покриття; квадратні – напилене двошарове композиційне покриття

З метою підвищення ефективності механічної обробки, вперше застосували розрахунково-аналітичний метод аналізу точності механічної обробки напиленних покриттів. На рис. 8 представлено результати дослідження точності токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні втулок з напиленим сталевим покриттям. Це дозволило визначити налагоджувальний розмір обробки d_n , зміну його в часі з урахуванням систематичної $\Delta_{\text{сист}}$ та випадкової $\Delta_{\text{мн}}$ похибок, і встановити часовий період обробки деталей з покриттями у межах встановленого допуску (без отримання виробничого браку).

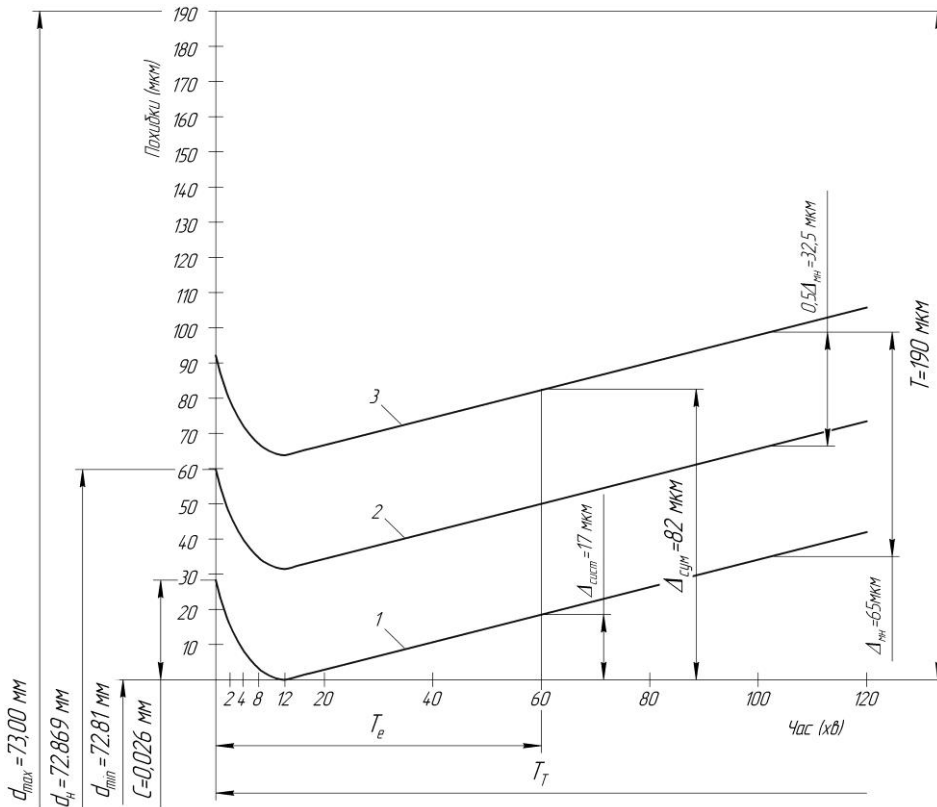


Рис. 8. Теоретична діаграма точності токарної обробки зразків з напиленим сталевим покриттям ($C = \Delta_{\text{сист}}^{\text{min}}$; T_e , T_T – економічна та технологічна стійкість інструменту відповідно): 1, 2, 3 – нижня, середня та верхня лінії розсіювання розмірів відповідно

Крім цього було визначено загальну похибку обробки, питомий внесок первинних похибок в загальну похибку $\Delta_{\text{сум}}$, виділено серед них найбільш суттєві та визначено шляхи зменшення їх негативного впливу на точність отриманого розміру. Встановлено відмінності у величинах похибок при точінні циліндричних деталей із суцільного матеріалу та з напиленим сталевим покриттям.

В п'ятому розділі представлено розроблену методику розрахунку припусків, конструкцію установки для формування покриттів комплексним методом, технологію легування гранул твердих сплавів для зміцнення породоруйнівних елементів бурових доліт, відомості про впровадження результатів досліджень.

Для полегшення механічної обробки композиційних покриттів і зниження затрат запропоновано робочий композиційний шар напиляти із матеріалу дротів та частинок порошку, які вводять із живильника, а верхній технологічний шар – тільки з матеріалу дротів. Цей верхній шар видаляють в процесі обробки різанням, залишаючи його певну товщину. Розроблено інженерну методику визначення товщини технологічного шару для отримання мінімальної шорсткості

обробленої поверхні залежно від загальної товщини покриття шляхом статистичної оцінки регресійних рівнянь виду $R_a = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x^i$, що описують нелінійну залежність величини шорсткості від загальної товщини покриття.

Для підвищення зносостійкості деталей типу тіл обертання розроблено технологічний процес, конструкцію і виготовлено дослідно-промислову установку (рис. 9) та необхідне оснащення.

За розробленим технологічним процесом (віброелектроіскрове легування основи молибденом, електродугове напилення робочого композиційного шару з матеріалу сталевих дротів та уведення в металоповітряний потік частинок карбиду вольфраму, верхнього технологічного шару із сталевих дротів, який підлягав механічній обробці, віброелектроіскрове легування твердим сплавом обробленої поверхні покриття) на установці (рис. 9) було сформовано композиційне покриття на зовнішній циліндричній поверхні захисних втулок валів відцентрових насосів. Стендові випробовування зміцнених втулок показали підвищення їх ресурсу роботи в 1,5 рази порівняно із серійними.

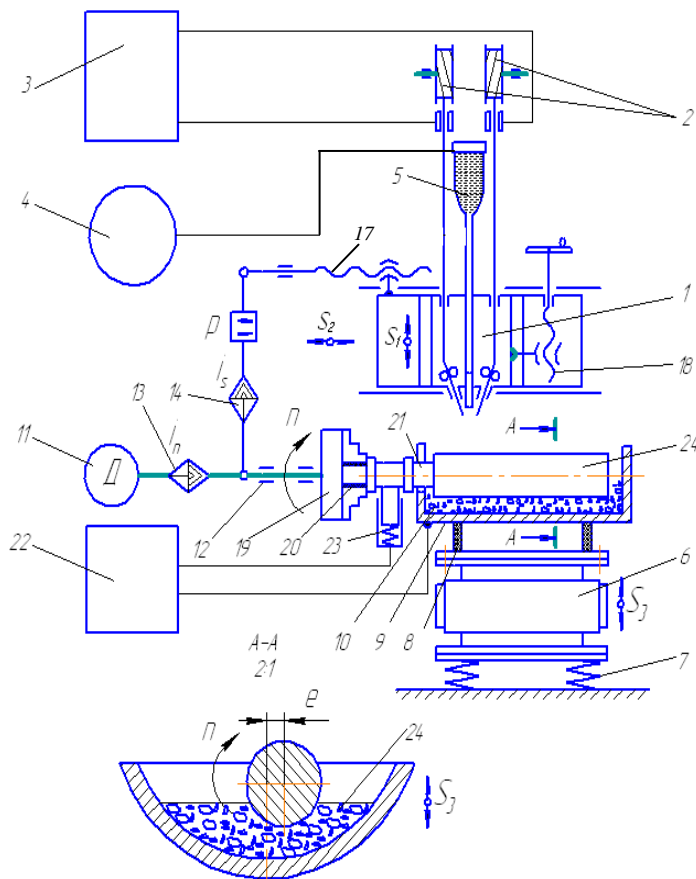


Рис. 9. Схема дослідно-промислової установки для формування композиційних покриттів комплексним методом:

1 – електродуговий металізатор; 2 – колушки для дротів; 3 – джерело живлення електродугового металізатора; 4 – компресор; 5 – порошковий живильник; 6 – вібратор; 7 – пружинна підвіска; 8 – електроізолюючі опори; 9 – контейнер; 10 – гранули; 11 – електродвигун; 12 – шпindel; 13 – орган настроювання частоти обертання шпінделя; 14 – орган настроювання механізму подачі; 15 – реверсний механізм; 16 – супорт; 17 – ходовий гвинт поздовжньої подачі; 18 – ходовий гвинт поперечної подачі; 19 – трикулачковий самоцентруючий патрон; 20 – електроізолююча втулка; 21 – оправка для встановлення деталі; 22 – джерело живлення для віброелектроіскрового легування; 23 – ковзаючий струмопідвід; 24 – деталь

На даній установці було зміцнено комплексним методом (віброелектроіскрове легування основи, електродугове напилення композиційного покриття AlTi20 з одночасним віброелектроіскровим легуванням матеріалу покриття твердим сплавом) партію бурильних замків типу ЗШ-178 і випробовано при роторному бурінні свердловини у виробничих умовах. У ході промислових випробовувань було встановлено, що зміцнення зовнішньої циліндричної поверхні бурильних замків за розробленою технологі-

єю дозволяє підвищити ресурс роботи в середньому в 1,4 рази порівняно із серійними (сталь 40ХН). Слід зазначити, що такого роду покриття доцільно застосовувати для вирівнювання макроелектрохімічної неоднорідності колони алюмінієвих бурильних труб із сталевими замками, яка експлуатується в середовищі бурового розчину.

Результати стендових та промислових випробовувань підтвердили техніко-економічну доцільність застосування комплексного методу зміцнення деталей нафтогазопромислового і бурового обладнання.

Аналіз шкідливих чинників під час нанесення композиційних покриттів показав, що розроблена нами установка для формування покриттів комплексним методом характеризується меншим числом шкідливих чинників порівняно з іншими типами установок для газотермічного напилення.

Розроблено технологічний процес віброелектроіскрового легування нікелем гранул твердого сплаву (Пат. 67165), який використовується для підвищення зносостійкості породоруйнівних елементів бурових доліт. Леговані нікелем гранули твердого сплаву застосовували для об'ємного відцентрового армування виливок з однією (А. с. 1491609) та з двома взаємно перпендикулярними осями обертання керамічної ливарної форми (А. с. 1197249), а також – для поверхневого наплавлення робочих поверхонь зубців бурових доліт за різними схемами. Результати дослідження показали зниження розчинності гранул WC в розтопленій сталі як в процесі відцентрового армування виливок, так і наплавлення робочих поверхонь, що і забезпечило підвищення зносостійкості бурових доліт на 21 %.

Результати досліджень впроваджені в ТзОВ МНВЦ «Епсілон ЛТД», ТзОВ «Нафтогазтехнологія» (м. Івано-Франківськ) та у навчальний процес Інституту інженерної механіки ІФНТУНГ.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведеного аналізу умов роботи бурового і нафтогазопромислового обладнання, існуючих технологій виготовлення і зміцнення деталей, науково обґрунтовано доцільність і перспективність, з точки зору підвищення якості поверхні, сумісного застосування технології електродугової металізації із суцільних дротів з введенням із живильника частинок порошку в металоповітряний потік та віброелектроіскрового легування. Теоретично обґрунтовано та розв'язано науково-технічну задачу формування композиційних покриттів комплексним методом, що дало можливість зменшити витрати на зміцнення у порівнянні з існуючими технологіями.

1. Вперше встановлено математичні залежності параметрів руху та температури частинок порошку, введених із живильника у металоповітряний потік з неоднорідним розподілом швидкостей та температур, від технологічних параметрів напилення композиційних покриттів електродуговим методом, а також на основі ймовірнісно-математичного моделювання обґрунтовано площу одиничних розрядів при віброелектроіскровому легуванні.

2. Для досліджуваних матеріалів частинок порошку (алюміній, титан, моібден, карбід титану, карбід вольфраму) визначено оптимальні технологічні

режими введення їх у неоднорідний металоповітряний потік для забезпечення потрапляння цих частинок у центр області напилення. Згідно з умовами запропонованого способу напилення встановлено, що температура частинки порошку в кінці дистанції є дещо менша від температури частинок, утворених розпиленням із суцільних дротів-електродів, але цілком достатня для забезпечення формування якісних композиційних покриттів і становить 500...1000 °С.

3. Розроблено новий ефективний груповий технологічний процес формування композиційних покриттів комплексним методом шляхом поєднання електродугового напилення із суцільних дротів з введенням із живильника частинок порошку в металоповітряний потік та віброелектроіскрового легування (з послідовним або одночасним виконанням вказаних процесів). Встановлено, що при напиленні композиційних покриттів із матеріалу дротів і частинок порошку електричні параметри дуги змінюються таким чином: для металевих частинок (Ti, Mo) напруга на дузі зменшується на 25...30 %, а для частинок карбідів (TiC, WC) напругу на дузі необхідно збільшувати в 1,3 рази.

4. Показано, що найбільш суттєвими чинниками в керуванні технологічним процесом формування композиційних покриттів при їх віброелектроіскровому легуванні в середовищі гранул твердого сплаву ВК8 або Т15К6 є тривалість процесу обробки в іскрових розрядах, напруга початку розряду і ємність конденсаторної батареї. Встановлено, що максимальна інтенсивність легування покриття має місце впродовж перших 10 – 20 хвилин, після чого процес уповільнюється і стабілізуються величини діаметра зразка та шорсткості поверхні. При цьому діаметр зразків з напиленим покриттям зростає в 1,48 рази повільніше порівняно із зразками з суцільного матеріалу.

5. Встановлено, що при точінні одношарових напилених покриттів глибина залягання обробленої поверхні з мінімальною шорсткістю залежить від загальної товщини покриття. Для двошарових композиційних покриттів, що складаються з робочого композиційного та верхнього технологічного шарів, який піддається механічній обробці, ця поверхня розташована ближче до зовнішньої поверхні ніж в одношарових на 8...12 %. При точінні напилених покриттів домінуючий вплив на точність обробки мають похибки від розмірного спрацювання та теплової деформації різця.

6. Вперше встановлено різницю електродних потенціалів між окремими шарами двошарових композиційних покриттів і показано, що максимальна різниця у електроліті з високим опором може сягати до 75 мВ. За результатами електрохімічних вимірювань встановлено, що композиційні покриття зберігають роботоздатність при різних видах навантаження як на розтяг, так і кручення, не знижуючи рівня допустимих напружень для основи.

7. Встановлено, що теплові умови формування композиційних покриттів комплексним методом не впливають негативно на фізико-механічні властивості металу основи, а також не призводять до зміни геометричних розмірів приєднувальних різьбових частин муфти і ніпеля, а розроблений технологічний процес зміцнення бурильних замків є ефективним для застосування як при виготовленні, так і при відновленні деталей.

8. Розроблено інженерну методику розрахунку припусків на механічну обробку композиційних покриттів на деталях типу тіл обертання, сформованих комплексним методом. Запропоновано конструкцію установки і технологію зміцнення зовнішньої циліндричної поверхні деталей бурильних замків шляхом формування композиційних покриттів з високою зносостійкістю та корозійною стійкістю комплексним методом. Стендові випробовування захисних втулок валів відцентрових насосів показали підвищення їх стійкості в 1,5 рази порівняно із серійними. Розроблену технологію формування покриттів комплексним методом на деталях типу тіл обертання передано і впроваджено в ТзОВ МНВЦ «Епсілон ЛТД», ТзОВ «Нафтогазтехнологія». Промислові випробовування бурових замків показали збільшення часу їх роботи в 1,4 рази порівняно із серійним. Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі ІФНТУНГ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кустов В. В. Аналіз шкідливих факторів при нанесенні металізаційних покриттів / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як, О. А. Гевка // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2000. – Вип. 37, Т. 5. – С. 131–133. *(Автору належить експериментальне дослідження рівня шуму при електродуговому напиленні).*

2. Кустов В. В. Теоретичне обґрунтування розміщення дозуючої трубки порошкового живильника при електродуговому напиленні композиційних покриттів / В. В. Кустов // Нафтогазова енергетика. – 2010. – № 2 (13). – С. 105–108.

3. Кустов В. В. Моделювання руху частинок порошку при напиленні покриттів електродуговим методом / В. В. Кустов, М. В. Маковійчук, Л. Я. Роп'як // Прогресивні технології і системи машинобудування: міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк, 2011. – Вип. 41 – С. 188–197. *(Автору належить теоретичне дослідження зміни швидкості при напиленні композиційних покриттів).*

4. Дослідження процесу зміцнення поверхонь деталей машин обробкою іскровими розрядами / Л. Григорчук, В. Кустов, М. Осипчук, Л. Роп'як // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – 2011. – Т. 16, 3. – С. 116–122 *(Автору належить теоретичне дослідження впливу співвідношення площі одиночного розряду до площі поверхні, яка зміцнюється).*

5. Кустов В. В. Технологія і установка для комплексного зміцнення замків бурильних труб / В. В. Кустов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – № 2 (39). – С. 33–39.

6. Кустов В. В. Дослідження руху та нагрівання частинок порошку в процесі напилення композиційних покриттів електродуговим методом / В. В. Кустов, М. В. Маковійчук, Л. Я. Роп'як // Наукові нотатки. – Луцьк, 2014. – № 44. – С. 154–163. *(Автору належить формулювання розрахункової схеми для визначення швидкостей).*

7. Кустов В. В. Вплив технологічних параметрів обробки в іскрових розрядах на показники газотермічних покриттів / В. В. Кустов, І. О. Шуляр,

А. К. Смаглюк, П. І. Войтенко // Нафтогазова енергетика. – 2014. – № 1. – С. 105–111. *(Автору належить постановка задачі та дослідження впливу технологічних параметрів віброелектроіскрового легування на зміну розмірів зразків і шорсткості їх поверхні).*

8. Семеген О. М. Дослідження та моделювання впливу конструктивного оформлення і технологічних параметрів виготовлення на показники зношування армованого озброєння шарошкових доліт / О. М. Семеген, З. М. Одосій, В. В. Кустов // Проблеми міцності. – 2014. – № 4 (430). – С. 162–171. *(входить до міжнародної наукометричної бази даних «Scopus»).* *(Автору належить обґрунтування вибору армуючих гранул і проведення математичного планування експерименту).*

9. Кустов В. В. Аналіз точності токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні втулок / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1, Ч. 1 (90). – С. 86–93. *(входить до міжнародних наукометричних баз даних «Ulrich's Web Global Serials Directory», «eLibrary», «Index Copernicus», «Polish Scholarly Bibliography», «Infobase Index», «Inspec», «Open Academic Journals Index», «Google Scholar», «CiteFactor», «Scientific Indexing Services»).* *(Автору належить дослідження похибок механічної обробки деталей з покриттями).*

10. А. с. 788503 ССРСР, МКИ³ В 05 В 7/22. Установа для напылення комбинированных покрытий электродуговым методом / П. Ф. Шуленок, В. В. Кустов, (СССР); заявитель и патентообладатель ИФИНГ. – № 2788539/23-05; заявл. 25.06.79. *(Автору належить загальна ідея введення порошків у зону напылення).*

11. А. с. 1197249 ССРСР, МКИ³ В 22 D 19/02. Способ получения армированных отливок / Ю. Н. Бугай, В. В. Кустов, А. В. Быков, А. М. Гасалов, Р. Л. Алавердов (СССР); заявитель и патентообладатель ИФИНГ. – № 3505285/22-02; заявл. 27.10.82. *(Автору належить загальна ідея об'ємного армування з двома осями обертання ливарної форми).*

12. А. с. 1491609 ССРСР, МКИ³ В 2 D 27/02. Устройство для получения армированных отливок / А. М. Абдулзаде, Р. Т. Карпик, Ю. Н. Бугай, Ю. Д. Петрина, В. В. Кустов (СССР); заявитель и патентообладатель ИФИНГ. – № 4344055/31-02; заявл. 23.11.87; опубл. 07.07.89, Бюл. № 25. *(Автору належить загальна ідея створення пристрою).*

13. Пат. 39303 Україна, МПК G 01 N 27/30. Мікроелектрод для електрхімічних вимірювань / Роп'як Л. Я., Петрина Д. Ю., Шуляр І. О., Кустов В. В., Гусак В. М.; заявник і патентовласник ІФДТУНГ. – № 2000010334; заявл. 20.01.00; опубл. 15.06.01, Бюл. № 5. *(Автору належить ідея виконання мікроелектрода двоканальним і дослідження властивостей поверхні покриттів).*

14. Пат. 40784 Україна, МПК С 23 С4/04, 26/02, 28/00. Установа для напылення композиційних покриттів электродуговым методом / Кустов В. В., Роп'як Л. Я.; заявник і патентовласник ІФДТУНГ. – № 2000010333; заявл. 20.01.00; опубл. 15.12.03, Бюл. № 12. *(Автору належить обґрунтування форми дозуючої трубки живильника).*

15. Пат. 67165 Україна, МПК В 05 D 3/14. Спосіб підготовки поверхні де-

талей перед газотермічним напиленням покриттів / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як, А. К. Смаглюк; заявник і патентовласник: Кустов В. В. – № u201107081; заявл. 06.06.11; опубл. 10.02.12, Бюл. № 3. (*Автору належить ідея надання обертання деталі у середовищі гранул*).

16. Компютерна програма «Програма підбору чисел зубів змінних зубчастих коліс гітар» («Gitara_Zmin_Zub_Kolis_001_KIS») / В. Я. Роп'як, І. С. Когут, Л. Я. Роп'як, В. В. Кустов // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 39064; дата реєстрації 07.07.2011. (*Автору належить обґрунтування умов складання коліс гітари*).

17. Кустов В. В. Оптимізація процесу електродугового напилення композиційних покриттів / В. В. Кустов // Конференція професорсько-викладацького складу інституту нафти і газу: наук.-техн. конф. 1992 р.: тези доп. – Івано-Франківськ, 1992. – С. 69.

18. Бугай Ю. Технологія виготовлення дискових шарошок / Ю. Бугай, В. Кустов, Р. Карпик // Проблеми і шляхи енергозабезпечення України: міжнар. наук.-практ. конф., 7-10 груд. 1993 р.: збірник статей. – Івано-Франківськ, 1995, Частина 2. – С. 17–21. (*Автору належить загальна ідея створення композиційної армованої зони*).

19. Дослідження антифрикційних властивостей полімерного волокнистого матеріалу / В. В. Кустов, Р. Т. Карпик, О. А. Лук'яненко, Л. Я. Роп'як, І. М. Чорній, С. М. Левицький // Конференція професорсько-викладацького складу інституту нафти і газу : наук.-техн. конф. 1996 р.: тези доп. – Івано-Франківськ, 1996, частина II. – С. 71. (*Автору належить результати експериментальних досліджень*).

20. Кустов В. В. Дослідження траєкторії руху частинок порошку в потоці транспортуючого газу / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як, В. М. Сеничак // Конференція професорсько-викладацького складу ІФДТУНГ: наук.-техн. конф. 2000 р. : тези доп. – Івано-Франківськ, 2000. – С. 63–64. (*Автору належить розрахункова схема*).

21. Кустов В. В. Динамічні характеристики процесу віброелектроіскрового легування / В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції “Наука і освіта ‘2004””, 10-25 лютого 2004 р., / Технічні науки. Дніпропетровськ: Наука і освіта. – 2004, Т 63. – С. 47–48. (*Автору належить експериментальні дослідження процесу віброелектроіскрового легування*).

22. Кустов В. В. Підвищення довговічності замків бурильних труб / В. В. Кустов // Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці «ІФНТУНГ-40»: міжнар. наук.-техн. конф., 16-20 квіт. 2007 р.: анотації – Івано-Франківськ, 2007. – С. 187.

23. Кустов В. Математичне моделювання процесів нагрівання і руху частинок порошку при електродуговому напиленні композиційних покриттів / В. Кустов, Л. Роп'як // Тези доповідей V Всеукраїнської наук.-практ. конф., 2010 р. – Київ: Університет «Україна», 2010. – С. 128. (*Автору належить розрахункова схема*).

24. Кустов В. Пристрій для автоматизації процесу напилення покриттів / В. Кустов, Л. Роп'як, А. Смаглюк // Матеріали міжн. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», 19-21 травня 2010 р.: тези доповідей. – Тернопіль, 2010. – С. 174-175. (*Автору належить блок-схема пристрою*).

25. Кустов В. В. Виброэлектроискровой способ подготовки поверхности деталей перед газотермическим напылением покрытий / В. В. Кустов // Материалы VII междунар. науч.-техн. конф. «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта», 22-25 ноября 2011 г.: тезисы докл. – Новополюк: НПУ, 2011. – С. 204–205.

26. Кустов В. В. Розрахунок температури частинок порошку в електричній дузі при напиленні композиційних покриттів електродуговим методом / В. В. Кустов, В. Ю. Шурховецький // Тези доп. XII всеукр. Молодіжної наук.-техн. конф. «Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» (секція II «Технологія машинобудування»). – К., 2012. – С. 65–67. (*Автору належить теоретичне дослідження температури частинок порошку*).

27. Кустов В.В. Установка для напилення композиційних покриттів електродуговим методом / В. В. Кустов // Інтелектуальний продукт вчених, винахідників і раціоналізаторів Прикарпаття, 2011: каталог перспективних винаходів, корисних моделей, промислових зразків і раціоналізаторських пропозицій Галицьких кмітливців. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 20.

28. Кустов В. В. Оцінка точності механічної обробки деталей з напиленням покриттям / В. В. Кустов // Прогресивні технології в машинобудуванні : III Всеукраїнська наук.-техн. конф. Національний університет “Львівська політехніка” 2 – 6 лютого 2015 р.: Збірник наукових праць, 2015. С. 66–67.

АНОТАЦІЯ

Кустов В. В. Підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покриттів комплексним методом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2015.

Дисертація присвячена розробці комплексного методу формування композиційних покриттів на деталях типу тіл обертання поєднанням процесів електродугового напилення та віброелектроіскрового легування.

Розроблено математичну модель процесу електродугового напилення композиційних покриттів із матеріалу суцільних дротів і частинок порошку, які вводять із живильника, що дозволило розрахувати технологічні параметри та оцінити температуру нагрівання частинок. На основі теорії ймовірностей досліджено процес віброелектроіскрового легування. Спроековано і виготовлено лабораторну установку із системою автоматизованого керування, модернізовано установку для віброелектроіскрового легування. Розроблено груповий технологічний процес формування композиційних покриттів комплексним методом. Досліджено вплив технологічних параметрів на показники якості покрит-

тів. Визначено оптимальну величину припуску на механічну обробку покриттів для отримання мінімальної шорсткості та проведено аналіз точності обробки деталей із покриттями. Розроблено дослідно-промислову установку для формування покриттів та проведено стендові та промислові випробовування деталей. Застосовано віброелектроіскрове легування нікелем гранул твердого сплаву для зміцнення породоруйнівних елементів бурових доліт. Проведено аналіз шкідливих чинників під час нанесення композиційних покриттів.

Ключові слова: технологічний процес, електродугове напилення, віброелектроіскрове легування, композиційне покриття, припуск, точність обробки, шорсткість поверхні, комплексний метод.

АННОТАЦИЯ

Кустов В. В. Повышение качества поверхностей деталей формированием композиционных покрытий комплексным методом. – На правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя. – Тернополь, 2015.

Диссертация посвящена разработке комплексного метода формирования композиционных покрытий на деталях типа тел вращения сочетанием процессов электродугового напыления и виброэлектроискрового легирования.

Разработана математическая модель процесса электродугового напыления композиционных покрытий из материала цельных проволок и частиц порошка, вводимых из питателя, что позволило рассчитать технологические параметры и оценить температуру нагревания частиц. На основе теории вероятностей исследован процесс виброэлектроискрового легирования. Спроектирована и изготовлена лабораторная установка с системой автоматизированного управления, модернизирована установка для виброэлектроискрового легирования. Разработан групповой технологический процесс формирования композиционных покрытий комплексным методом. Исследовано влияние технологических параметров на показатели качества покрытий. Определена оптимальная величина припуска на механическую обработку покрытий для получения минимальной шероховатости и проведен анализ точности обработки деталей с покрытиями. Разработана опытно-промышленная установка для формирования покрытий и проведены стендовые и промышленные испытания деталей. Применено виброэлектроискровое легирование гранул твердого сплава для упрочнения породоразрушающих элементов буровых долот. Проведен анализ вредных факторов при нанесении композиционных покрытий.

Ключевые слова: технологический процесс, электродуговое напыление, виброэлектроискровое легирование, композиционное покрытие, припуски, точность обработки, шероховатость поверхности, комплексный метод.

ABSTRACT

Kustov V.V. Enhancement of components surface quality, applying compositional coatings by complex method. – Manuscript.

Thesis for the Scientific Degree of Candidate of Technical Sciences in Specialization 05.02.08 – Mechanical Engineering. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University. – Ternopil, 2015.

Thesis is dedicated to the development of complex method of compositional coatings application on components of rotational body type by combination of processes of arc spraying and vibratory electrospark alloying to enhance surface quality.

Mathematical model of arc spraying of compositional coatings from seamless wire material and powder particles which are injected into air spray from feeding unit has been developed. This model lets us calculate technical parameters necessary to provide hitting of powder particles into the center of spraying zone and evaluate heating temperature. On the basis of probability theory the process of vibratory electrospark alloying has been investigated. The results of mathematical modeling have been used as output data for the design of laboratory unit with automatic control system, upgrading of vibratory electrospark alloying unit and installation of rational technological regimes of coatings application. Besides, group technological process, aimed at coatings application by complex method has been developed. This technological process includes the following basic operations: surface preparation, coating spraying, mechanical treatment of coating, electrospark alloying, final mechanical treatment of coating, inspection operations.

The influence of technological parameters of complex method of composition-coatings application upon compositional coatings quality indices has been investigated. They are as follows: adhesion strength, microhardness, geometry, surface roughness, wear resistance. Statistical evaluations of regression equations, describing nonlinear dependence of roughness parameter upon thickness of coating have been obtained. Optimal allowance value for mechanical treatment aimed at minimum roughness has been defined and the analysis of accuracy of treatment of components with coatings has been carried out.

Engineering technique aimed at definition of allowances for mechanical treatment of components with compositional coatings has been developed. Experimental-industrial unit for the formation of a complex method for coating of parts such as rotational bodies has been developed. Poster and industrial tests of parts of drilling and oil and gas equipment have been shown. The possibilities of use of vibratory electrospark alloying of carbide granules to form a wear resistant rock cutting elements of drilling bits have been presented. Alloy carbide granules are used in both process of volume centrifugal reinforcement of one or two axes of rotation of the ceramic mold, and in the course of padding of working surfaces of drill bits teeth according to various schemes. The analysis of harmful factors during coatings application has been made.

The developed technology of compositional coatings application by complex method has been transferred and implemented at LLC Interdisciplinary Scientific-Production Center "Epsilon LTD" and "Naftogastechnologiya" to restore worn and strengthen new parts of drilling and oil and gas equipment.

Key words: technological process, arc spraying, vibratory electrospark alloying, compositional coating, allowance, treatment accuracy, surface roughness, complex method.

Підп. до друку 03.07.2015. Формат 60x90/16.
Папір офс. Друк різнографічний. Гарн. Times New Roman.
Авт. арк. 0,9. Наклад 100.

Видавець та виготівник «Симфонія форте»
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Крайківського, 2
тел. (0342) 77-98-92

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців
та виготівників видавничої продукції: серія ДК № 3312 від 12.11. 2008 р.