

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МАРТИНЕНКО ОЛЕКСАНДР ДМИТРОВИЧ

УДК 621.793.

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОВГОМІРНИХ ДЕТАЛЕЙ
ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ**

Спеціальність 05.02.01 – "Матеріалознавство "

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків - 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Ремонт машин" Харківського державного технічного університету сільського господарства Міністерства аграрної політики України

- Науковий керівник:** - доктор технічних наук, професор
Скобло Тамара Семенівна,
Харківський державний технічний
університет сільського господарства, м. Харків,
професор кафедри "Ремонт машин"
- Офіційні опоненти:** - доктор технічних наук, професор
Змій Віктор Іванович,
Науковий Національний Центр
"Харківський фізико-технічний інститут", м. Харків,
начальник лабораторії
- кандидат технічних наук, доцент
Погрібний Микола Андрійович,
Національний технічний університет "Харківський
політехнічний інститут", м. Харків, доцент кафедри
"Матеріалознавство і термічна обробка металів"
- Провідна організація:** - Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" Мі-
ністерства освіти і науки України, м. Харків,
кафедра авіаційного матеріалознавства

Захист відбудеться " 20 " березня 2003 року о " 14 " годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.01 Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків-МСП, вул. Петровського, 25

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий " 18 " лютого 2003р.

Вчений секретар спеціалізованої ради:

І.В. Кияшко.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Умови експлуатації машин і агрегатів вимагають високої якості, надійності і довговічності їх деталей. При експлуатації зміцненої робочої поверхні має місце зниження фізико-механічних властивостей внаслідок накопичення та розвитку ушкоджень, що призводять до руйнування та зношування. У 90% деталей, здебільше працюючих у спряженні, величина зносу не перевищує 1,0мм, який можна компенсувати нанесенням покриттів.

Для забезпечення необхідних споживчих властивостей штоків, валів, валів-шестерень та інших деталей і стабільної роботи машин і обладнання потрібно забезпечити отримання в процесі їх відновлення методом нанесення покриттів високої якості робочих поверхонь і необхідних показників механічних та експлуатаційних властивостей. Це можливо шляхом вибору ефективних технологій і параметрів відновлення, які б не впливали на зміну лінійних розмірів деталей при обробці і забезпечували необхідні умови для роботи спряження. До числа таких технологічних процесів відновлення відносяться методи з використанням високонцентрованих джерел енергії - лазерна, плазмова, електронно-променева та електроіскрова обробки (ЕІО), які не призводять до структурних і фізико-механічних змін у підложці і забезпечують отримання необхідної товщини шару покриття.

Актуальність теми. Найбільш доступним, з точки зору обладнання і вартості обробки, є електроіскровий метод, який дозволяє проводити нарощування зношеного шару деталі та не вимагає особливого екологічного захисту. Цей метод найбільш ефективний для довгомірних деталей (відношення довжини до їх діаметра $l/d \geq 5$) – штоків турбін та гідроциліндрів сільськогосподарської техніки, оскільки не призводить до їх короблення при обробці і при цьому повністю зберігає якість металу серцевини, що пройшла попередню термічну обробку.

Однак з причини формування при обробці значної шорсткості, яка додатково зростає при нанесенні наступних шарів, не вдається отримати якісне покриття до 2,0мм на діаметр. Крім цього, відсутня інформація про ефективний матеріал для нанесення покриттів довгомірних деталей та можливості виготовлення з нього електродів, оптимальні параметри обробки, їх вплив на суцільність шару, міцність зчеплення з основою, яка має залежати від попередньої підготовки поверхні деталі, особливо якщо вона була піддана хіміко-термічній обробці при виготовленні.

Обладнання для ЕІО відносно низькокоштовне та не дефіцитне, легко монтується на базі різноманітних верстатів і може бути використано на різних ремонтних дільницях і спеціалізованих підприємствах. Тому напрямок робіт, пов'язаних з отриманням необхідної якості і високої довговічності деталей, відновлених методом ЕІО при малих матеріальних витратах, є важливим і актуальним.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Напрямок виконаної дисертаційної роботи відповідає держбюджетній та госпдоговірній тематиці ХДТУСГ, що виконувалася в період 1989-2002р.р. Крім того робота є складовою частиною регіональної програми "Найважливіші проблеми АПК на

1996-2005роки". Результати проведених досліджень відображенні у чотирьох науково-дослідних роботах ХДТУСГ, дві з яких виконувалися за госпдоговірною тематикою з АТ "Турбоатом", третя – за госпдоговірною темою з заводом тракторних двигунів (ХЗТД), а четверта – фінансувалася на конкурсній основі Міністерством машинобудування, військово-промислового комплексу і конверсії України в період 1989-94р.р. (договір 313/07, тема 33-92).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вибір ефективних матеріалів для відновлення зношеної поверхні довгомірних деталей машин і агрегатів та розробка параметрів нанесення покриття, що забезпечать підвищення його якості та споживчих властивостей. Для реалізації поставленої мети необхідно:

- вивчити особливості зношування і поведінки матеріалу деталей при їх експлуатації та визначити вплив структурного стану відновлюваної поверхні на якість нанесення покриття методом ЕІО;

- дослідити вплив хімічного складу матеріалу електрода (анод) на властивості та якість деталі (катод) при нанесенні покриттів;

- оцінити поведінку азотованого шару при нагріванні для вибору параметрів попереднього (перед нанесенням покриття) відпалу деталей;

- вдосконалити вузли обладнання для забезпечення надійної роботи устаткування при нанесенні якісного і однорідного за структурою, хімічним складом і властивостями покриття та обґрунтувати параметри промислового відновлення деталей, що відрізняються умовами експлуатації і матеріалом.

Об'єкт дослідження: нанесення відновлювальних покриттів та зміцнення зношених деталей, виготовлених з різних матеріалів.

Предмет дослідження: підвищення довговічності довгомірних деталей шляхом нанесення покриттів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- встановлені кількісні параметри масопереносу при ЕІО в залежності від матеріалу анода та режимів обробки та досліджені фізичні процеси, що обумовлюють формування структури покриття і його якості;

- на основі комплексних досліджень різних матеріалів анода встановлено, що найбільш ефективними для забезпечення довговічності відновлених деталей є матеріали леговані хромом (10Х13, 30Х13, ферохром), які забезпечують високе зчеплення нанесеного шару з основою, однорідність властивостей по перерізу та периметру покриття;

- встановлено взаємозв'язок між хімічним складом матеріалу анода, параметрами обробки, режимами поверхневого пластичного деформування (ППД) і кінетикою формування покриття, його товщиною, коефіцієнтом суцільності і шорсткістю;

- теоретично обґрунтовані і експериментально оцінені параметри локального відпалу лазерним променем для забезпечення рівномірної дисоціації нітридів на оптимальну глибину (170-550мкм), що дозволяє отримати необхідну якість покриття при ЕІО деталей з попереднім азотуванням. Виявлений зв'язок між вихідною структурою поверхні деталі після зношування та параметрами лазерної обробки

для її деазотування.

Практичне значення одержаних результатів роботи включає:

- проведення промислової перевірки та впровадження у виробництво розроблених технологічних процесів нанесення покриттів і зміцнення поверхневого шару деталей (штоків гідроциліндрів сільськогосподарських машин та штоків турбін);

- пропозиції з модернізації обладнання для ЕЮ та пристрою для ППД до розробленого технологічного процесу;

- розробку технологічного завдання (ТЛЗ) на проектування спеціалізованої ділянки нанесення покриттів електроіскровим методом для зміцнення та відновлення деталей в умовах АТ "Турбоатом", яке прийнято замовником.

Річний фактичний економічний ефект від впровадження розробок склав 139540грн, а потенційний - від розширення обсягів впровадження та номенклатури деталей, що передбачається обробляти - 6млн. 205тис. грн.

Особистий внесок здобувача складає від 25 до 100% обсягу опублікованих статей. Автором виконані теоретичні і експериментальні дослідження, що стосуються особливостей формування покриття при ЕЮ. Для підвищення якості відновлювального шару деталей, попередньо азотованих, розроблені рекомендації по розкладу нітридів в поверхневому шарі матеріалу штока. Теоретично оцінені параметри та запропоновано спосіб попередньої обробки такої поверхні лазерним променем перед нанесенням покриття. Виконана оцінка коефіцієнта суцільності покриття в залежності від числа дотиків і проходів електрода. Вивчено вплив матеріалу електрода і параметрів обробки на розмір зони термічного впливу. Розроблені та впроваджені у виробництво технологічні параметри нанесення покриття електроіскровим методом.

Апробація результатів дисертації. Результати проведених досліджень доповідались на щорічних (1991-2002р.р.) науково-методичних конференціях ХДТУСГ, а також на конференціях: "Концентрированные потоки энергии в обработке и соединении материалов" (ПРДЕНТП, м. Пенза, 1991р.); II^{-й} наук.-практ. конф. –"Перспективы развития механизации, автоматизации и технического сервиса сельскохозяйственного производства" (ПДСГІ, м. Полтава, 1997р.), конф. молодих вчених "Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук" (ПДСГІ, м. Полтава, 1997р); міжнародних науково-практ. конф.: "Напрямки розвитку технічного сервісу у ХХІ сторіччі" (ХДТУСГ, м. Харків, 2000р.); "Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки" (ХДТУСГ, м. Харків, 2001р.); 5^{-ий} міжнародній науково-техн. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве" (ФЕД, м. Харків, 2002р.); 3^{-й} Международной конференции ОТТОМ-3 "Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов" (ННЦ ХФТІ, м. Харків, 2002р.).

Публікації. В дисертаційній роботі викладені результати виконаних досліджень, проведених на протязі 1989-2002р.р. Основні матеріали викладені у чотирьох звітах з госпдоговірних науково-дослідних робіт та 17 публікаціях (15 статей, одна теза та інформаційний листок), а також знайшли відображення в підручнику і

двох практикумах з ремонту машин.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (136 найменувань) і 8 додатків.

Загальний обсяг дисертації складає 202 сторінки. Основна частина викладена на 149 сторінках тексту, і містить в тому числі 34 таблиці і 37 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* роботи на основі аналізу літературних джерел обґрунтована актуальність теми, сформульована мета і задачі досліджень, приведені дані про практичну цінність і наукову новизну.

В *першому розділі* наведено аналіз стану питання та обґрунтовано вибраний напрямок досліджень. Показано, що традиційні засоби, які застосовуються для нанесення покриттів на довгомірні деталі машин нарощуванням зношеного шару призводять до зміни фізико-механічних властивостей серцевини та короблення. Відновлення деталей з величиною зносу, що не перевищує 1,0мм, доцільно виконувати з використанням висококонцентрованих джерел енергії, до числа яких відноситься і електроіскровий метод. Також цей метод забезпечує умови для відновлення деталей з малотехнологічних матеріалів.

У даному розділі узагальнені дані про матеріали, що застосовуються для нанесення покриттів на деталі в залежності від технологічних процесів їх виробництва і умов експлуатації. Проаналізовані особливості і переваги структуроутворення при кристалізації в процесі ЕІО та фізична сутність цього процесу, що в сукупності з підходом до вибору параметрів обробки і матеріалів для нанесення покриттів забезпечує високу довговічність висококоштовних деталей.

Однак в літературі не знайдено інформації про підхід до вибору матеріалу анода для нанесення покриттів на деталі, які працюють в спряженні. Цей метод не забезпечує формування якісного шару товщиною до 2мм на діаметр тому, що має місце його несучільність та шорсткість, які потребують значного зняття металу наступною механічною обробкою. Покриття також не може бути нанесено на деталі з попереднім зміцненням хіміко-термічною обробкою.

У *другому розділі* роботи розглянута методика проведення експериментальних досліджень з використанням сучасних засобів аналізу. Згідно прийнятої методології проведення досліджень, для розв'язання проблеми ефективного нанесення покриття на зношені деталі, що відрізняються умовами експлуатації і матеріалом, вивчали особливості зносу та стан поверхні тертя, на основі яких розробили технологічні процеси попередньої обробки. Нанесення компенсуючого знос покриття базувалося на проведенні досліджень якості такого шару.

Для досліджень структури, суцільності покриття, твердості, міцності зчеплення, жаро- та зносостійкості використовували оптичну та електронну мікроскопію, рентгеноструктурний і спектральний аналізи, а також обладнання для оцінки механічних та спеціальних властивостей.

Використані методи досліджень в процесі проведення ЕІО дозволили оцінити характер розподілу хімічних елементів по глибині шару та його периметру, шорсткість поверхні, її стан, суцільність і властивості покриття.

Проводили нанесення покриттів методом ЕЮ на деталі машин і обладнання, виготовлених з різних матеріалів (табл. 1). Як модельні для вивчення перенесення електродного матеріалу процесів при нанесенні покриттів методом ЕЮ використовували сталь 45 та Ст.3, в яких відсутні легувальні елементи.

Таблиця 1.

Вміст хімічних елементів у досліджуваних матеріалах

№ з/п	Матеріал	Хімічний склад, %								
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
1.	Сталь 45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	до 0,25	до 0,25				
2.	Сталь 40X	0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	до 0,3				
3.	Сталь 45X	0,41-0,49	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	до 0,3				
4.	Заевтектоїдна сталь ШХ15	0,95-1,05	0,15-0,35	0,20-0,40	1,30-1,65	до 0,3	-	-	-	-
5.	Чавун (сірий)	3,5-3,7	2,0-3,0	0,5-0,7	-	-	-	-	-	-
6.	Чавун (легований)	2,8-3,2	0,9-1,2	0,8-1,0	1,0-2,0	0,8-1,5	0,1-0,5	-	-	-
7.	Сталь 20X1M1Ф1ТР	0,17-0,34	0,31-0,35	0,41-0,50	0,9-1,4	0,45-0,50	0,8-1,1	0,7-1,0	0,005-0,12	≤ 0,005

В роботі використано метод емісійного спектрального аналізу для вивчення і контролю процесу ЕЮ. В експерименті оцінювали порівняльну кількість кожного елемента, що надходить в зону розряду, по почорнінням спектральних ліній. Кінетику зміни елементного складу в залежності від часу процесу і кількості проходів вивчали фотографуванням спектрів, які утворюються при розряді між електродом і поверхнею деталі, через рівні проміжки часу (1-2хв).

Критерієм оцінки ефективності метода ЕЮ деталей були товщина, суцільність нанесеного шару і його якість, яку оцінювали по: твердості поверхневого шару; характеру структури, що сформувалася при нанесенні покриття; міцністю зчеплення покриття з основою і результатам випробувань на зносостійкість, жаростійкість, корозійну стійкість.

Міцність зчеплення нанесеного шару з основою, у випадку якщо вона після ЕЮ за три проходи не перевищувала 1мм, оцінювали за методикою Гуляєва – Гудцова. При величині покриття більш ніж 2мм - по загальноприйнятій методиці.

Випробування на зносостійкість проводили на машині тертя МІ-1М. Навантаження на зразок складало 16кг, час випробування - 141хв, що відповідає 63350 циклам. Контролювали геометричні розміри на відповідність їх технічним вимогам. Вивчали вплив технологічних параметрів обробки на якість відновленого шару. Мікротвердість вимірювали на скісних шліфах (кут $\alpha \cong 5$ град.). Глибину зміцненого шару після пластичної деформації (h) визначали за залежністю:

$$h = 0,8\ell \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

де ℓ - довжина відновленого шару на скісному зрізу, мм.

Електроди мали форму дисків $\varnothing 80-250$ мм товщиною 1,5-2,5мм або круглих чи квадратних по перерізу заготовок. При виборі матеріалу електрода брали на увагу, що найбільш простим та дешевшим є використання електрода з матеріалу деталі.

Однак такий підхід не завжди забезпечує експлуатаційні вимоги до покриття. Тому поряд з вказаними матеріалами (див. табл. 1) були додатково підібрані матеріали з високим вмістом хрому (10X13, 30X13, ферохром), які при нанесенні покриття повинні підвищити його зносостійкість, а також електрод 10X18H10T, що відноситься до аустенітного класу і забезпечує жаростійкість. Також використовували і твердосплавний електрод T15K6.

Параметри обробки при нанесенні покриттів методом ЕЮ регулювали в широких межах: швидкість обертання деталі 1-250об/хв; переміщення супорту $S=0,5-3,0$ мм/об; частота вібрації електрода відповідала 50 та 100Гц; число проходів електрода змінювали в межах $n=1-8$.

При нанесенні покриття на зношені деталі здійснювали всі необхідні попередні операції, що докладно і послідовно викладаються в технологічному процесі на відновлення і технологічному завданні на створення спеціалізованої дільниці.

Третій розділ роботи присвячений встановленню зв'язку між технологічними параметрами ЕЮ та ППД при нанесенні покриття і його характеристиками. Для нанесення покриття установка "Елітрон 314" була модернізована в напрямку більш широкого регулювання параметрів обробки, що забезпечило необхідну якість нанесеного шару.

Основними технологічними параметрами процесу ЕЮ, які обумовлюють якість покриття, є енергія імпульсу, число проходів електродом, швидкість обробки і поздовжня подача. В залежності від розміру і типу деталі при ЕЮ є можливість використання одного, двох, трьох, або більш електродів водночас.

При електроіскровому нанесенні покриття практично не прогрівається основний метал деталі, а в покритті формуються розтягувальні напруження. Використання ППД (пристрій забезпечує тиск до 50МПа) дозволяє не тільки підвищити якість, зменшити шорсткість покриття, додатково зміцнити поверхневий шар, але і знизити розтягувальні напруження. Це позитивно впливає на експлуатаційні властивості і дозволяє провести додаткове нанесення шарів методом ЕЮ. В роботі розроблено конструкцію обкатника, який змонтували на установку. Для вибору тиску при ППД, окрім фізико-механічних властивостей металу, оцінювали і шорсткість покриття. Оптимальним є тиск - 30МПа.

До основних показників, які визначають якість покриття, відносяться: його товщина, яка залежить від числа дотиків; середня висота мікронерівностей та параметри одиначної лунки; коефіцієнт суцільності покриття; наявність дефектів (пори, раковини, тріщини тощо) та їх кількість на 1см^2 ; рівень мікротвердості, міцність зчеплення.

Характеристикою процесу формування покриття є питомий приріст маси деталі $\sum_{i=1}^n \Delta k_i$ (катоде). Технологічні параметри, які впливають на цей показник, це: енергія імпульсу; кількість проходів електродом; час обробки та частота слідування імпульсів. Збільшення енергії імпульсів приводить до зростання товщини покриття, висоти мікронерівностей, його суцільності при незначному зниженні твердості цього шару.

Співвідношення числа дотиків $P(\text{од})$ і технологічних параметрів при нарощуванні покриття на деталі типу тіл обертання оцінювали за залежністю:

$$P = \frac{100 * z * n_i}{\pi * D * n_d * S}, \quad (2)$$

де z - число електродотримачів в інструменті для обробки, одиниць; n_i - швидкість обертання інструменту, хв^{-1} ; D - діаметр деталі, що оброблюється, мм; n_d - швидкість обертання деталі, хв^{-1} ; S - подача, мм/об.

Висоту мікронерівностей оцінювали по розробленій методиці, розрахунковим шляхом на основі розміру одиничних лунок, що визначали за допомогою оптичного мікроскопу МІМ-8М. Висота їх змінювалася від R_1 до R_2 , яку оцінювали за залежностями:

$$R_1 = \left(\sqrt{k_l^2 - \frac{\beta^2}{48}} - \sqrt{k_l^2 - \frac{\beta^2}{12}} \right) r_l; \quad R_2 = \left(k_l - \sqrt{k_l^2 - \frac{\beta^2}{3}} \right) r_l, \quad (3)$$

де k_l - коефіцієнт лунки, рівний відношенню r_l/h_l ; r_l - радіус одиничної лунки, мм; h_l - висота одиничної лунки, мм; β - коефіцієнт, рівний відношенню міжцентрової відстані сусідніх лунок до їх радіусу.

Крок нерівностей профілю (S_i) по вертикалі оцінювали за залежністю:

$$S_i = A_s r_l \quad (4)$$

де A_s - коефіцієнт пропорційності, який змінюється в залежності від енергії імпульсу обробки та швидкості обертання деталі, $A_s = 0,5-1,1$.

Продуктивність процесу обробки (площа обробленої поверхні за одиницю часу при одному проході електродом) N визначали за залежністю:

$$N = \frac{50d^2}{k \cdot k_1}, \quad (5)$$

де d - діаметр одиничної лунки, мм; k - коефіцієнт суцільності покриття по перерізу деталі; k_1 - коефіцієнт суцільності покриття по довжині деталі.

Коефіцієнт суцільності покриття оцінювали за залежністю:

$$k = 1 - \left(1 - \frac{S_0}{100} \right)^n, \quad (6)$$

де S_0 - суцільність покриття за один прохід електродом, визначали теоретично, виходячи з кінематичних параметрів обладнання, $S_0 = 0,55(55\%)$; n - число проходів електродом.

Виходячи з площі обробки, визначали необхідну кількість електродів:

$$z = \frac{S_{обр}}{P \cdot t_{обр}}, \quad (7)$$

де $S_{обр}$ - площа деталі, що обробляється, см^2 ; $t_{обр}$ - заданий час обробки 1см^2 , хв.

Виходячи з цього - суцільність покриття при двох проходах електродом складає 0,8 (тобто 80%), після трьох - 91%, після чотирьох - 96%. Починаючи з трьох проходів забезпечується достатньо висока продуктивність процесу віднов-

лення. Товщина електродів та крок обробки також впливають на суцільність покриття. При визначенні електричних параметрів виходили з того, що діаметр одиничної лунки залежить від величини струму іскрового розряду (табл. 2).

Таблиця 2.

Струм іскрового розряду, А	15	50	80
Діаметр одиничної лунки, мм	0,3	1,0	1,4

До стану поверхні деталей, що підлягають відновленню методом ЕІО, розроблено технічні вимоги їх підготовки. В залежності від величини зносу деталі - 0,05-0,40мм - вихідна висота мікронерівностей поверхні, яка підлягає відновленню, повинна бути не вище 25-160мкм відповідно. Знос не повинен перевищувати максимальну товщину шару. При цьому забезпечується оптимальна шорсткість після обробки, яка дорівнює 0,63мкм. Поверхня деталей, що підлягає обробці, не повинна мати забруднень, іржі, тощо.

В четвертому розділі роботи аналізується стан поверхні зношених деталей і розглядаються рекомендації її підготовки до відновлення. Стан зношеної поверхні оцінювали на основі вивчення кінетики структурних змін, що відбуваються на поверхні тертя, а також по зміні рівня твердості вздовж і поперек деталей та пошкоджень робочого шару. Дослідження було виконано на плунжерах (сталь ШХ15), колінчастих валах (високоміцний чавун) і штоках (сталі 40Х, 45Х і 20Х1М1Ф1ТР).

Аналіз поверхні зносу колінчастих валів з високоміцного чавуну виявив, що в поверхневому шарі кількість феритної складової збільшується на ~7,0% при цьому середня твердість знижується з 286НВ до 262НВ, що свідчить про відсутність поверхневого наклепу. Глибина шару зі збільшеною часткою фериту та крапкових включень графіту складає 30-60мкм. Безпосередньо на поверхні тертя виявлені мікротріщини, які розташовуються під кутом 45° , глибина їх не перевищує 2-5мкм. Для проведення відновлення цих деталей нанесенням покриття методом ЕІО необхідно видаляти тільки тонкий шар, в якому є мікротріщини. Збільшення частки феритної складової сприятиме зменшенню рівня напружень при нанесенні покриттів.

В роботі проводили дослідження зношеної поверхні штоків гідроциліндрів сільськогосподарських машин, які виготовляються з сталей 40Х, 45Х і піддаються гартуванню з високим відпуском (45HRC). Основними дефектами при експлуатації є згин, зрив і пошкодження різьби, знос поверхні отвору вилки під палець, знос зовнішньої робочої поверхні. Знос робочої поверхні таких деталей рівномірний і досягає 0,15-0,30мм, тож для відновлення їх не потрібна спеціальна попередня обробка, необхідно виконати лише загальні операції (правка, очищення).

В роботі аналізували знос і структурні зміни на поверхні тертя штоків з легованої сталі 20Х1М1Ф1ТР зі складною термічною обробкою (поліпшення для забезпечення високої міцності, а також поверхнева хіміко-термічна обробка - азотування для отримання високої зносостійкості). Вони мали односторонню спрацьованість від втулок по глибині до $\approx 0,05$ мм.

В усіх досліджених штоках на відстані 20мм від головки твердість в 1,9-2,2 рази нижче, ніж на відстані 900мм. Металографічними дослідженнями штоків по довжині встановлено, що у хвостовій частині азотований шар зберігається (його глибина складає 0,4мм), а біля головки відбувається дифузія азоту на глибину до 1мм, що призводить до зниження твердості. Після експлуатації штока мікротвердість поверхневого шару практично досягла вихідної (Н-50 - 180-230). Це можна пояснити тим, що у зв'язку з підвищеною робочою температурою відбувається часткова дисоціація нітридів і дифузія азоту як в глибину, так і в атмосферу. В момент дисоціації нітридів атоми металу мають підвищену активність і легко окислюються, тому на поверхні азотованого шару з'являються окисли.

Якщо наносити покриття безпосередньо на спрацьовану поверхню штока, то в тій частині де зберігся азотований шар, відбувається дисоціація нітридів, що призводить до виникнення тріщин в покритті. Тому перед нанесенням покриття необхідно здійснити термічну обробку для дисоціації нітридів.

Об'ємне нагрівання обмежується температурою 500-550⁰С. При її підвищенні погіршуються властивості серцевини штоку (знижується жорсткість та міцність, що може привести до втрачання форми). Тому треба було розробити таку поверхневу обробку, яка забезпечувала б дисоціацію нітридів і не впливала б на властивості серцевини. В даній роботі запропоновано метод для видалення азотованого шару в штоках шляхом обробки лазерним променем, що дозволяє зберегти прямолінійність довгомірної деталі і усунути процес механічної обробки перед нанесенням покриття.

Виконано математичне обґрунтування режимів відпалу, які забезпечують розпад зміцненого поверхневого шару деталей, попередньо підданих азотуванню. За основу було взято рівняння теплопровідності:

$$\frac{D}{Dt}T(X, Y, Z, t) - \chi \nabla^2 T(X, Y, Z, t) = 0, \quad (8)$$

При розрахунках приймали граничні умови:

$$T(a, \theta, z) = 0; T(b, \theta, z) = T^b \chi(\theta) \chi(z), T(b, \theta, z) = 0, \quad (9)$$

де a, b - внутрішній і зовнішній діаметри втулки; T^b - температура поверхні в області Γ^b дії лазерного променя; $\chi(\theta), \chi(z)$ - функції, рівні одиниці в області Γ^b і нулю поза Γ^b .

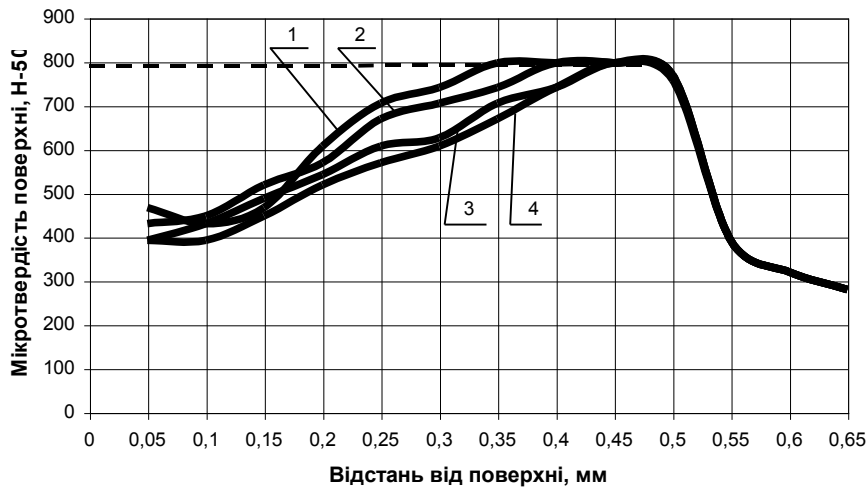
Використовуючи принцип відносності, припускали: процес обробки – постійний, відсутня залежність між температурою деталі і її теплопровідністю; лазерний промінь постійний (відсутня неоднорідність в розподіленні густини потужності по діаметру лазерної плями) і нерухомий, а циліндр здійснює складний рух (обертається відносно осі і рухається вздовж неї). Після ряду перетворень та рішення рівняння теплопровідності (8) визначили співвідношення між відстанню Δ від зовнішньої поверхні, де відбувається дисоціація нітридів, і температурою:

$$\Delta = b - r = \left\{ \frac{1}{1 + \frac{2}{\pi} \left[\frac{1}{\pi b} + \sqrt{2\pi^{3/4}} \sqrt{\frac{b}{D}} \sqrt{\frac{N}{\chi}} \right] (b-a)} - \frac{\pi \lambda D^2 T(r, \theta, z)}{4kP(b-a)} \right\} (b-a), \quad (10)$$

де r – радіус, на якому здійснюється дисоціація нітрідів, м; D – діаметр лазерної плями, мм; N – число обертів деталі, s^{-1} ; χ – коефіцієнт теплопровідності, m^2/s ; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/мК; k – коефіцієнт поглинання лазерного променя; P – потужність лазерного променя, кВт; $T(r, \theta, z)$ – температура (під плямою лазерного променя на поверхні втулки) на глибині $\Delta = b - r$.

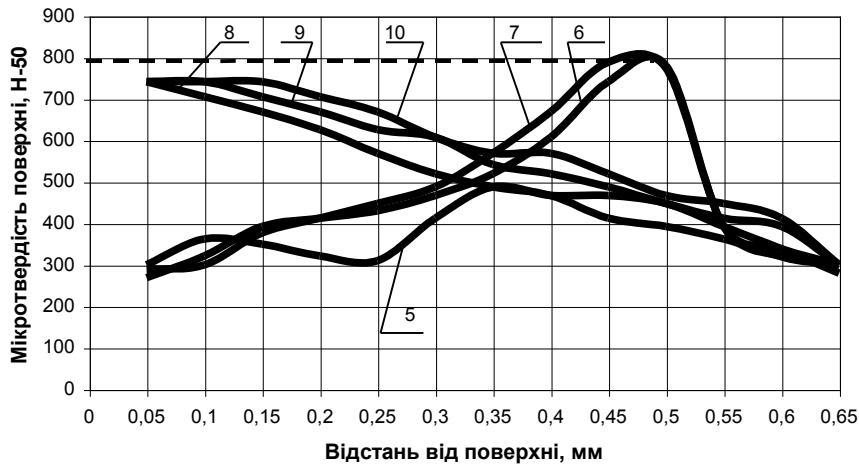
Використовуючи оптимальні значення параметрів лазерної термообробки (потужність лазерного променя $P = 1,15 \times 10^3$ Вт; $D = 4$ мм; $N = 0,29 s^{-1}$) і характеристики металу деталі, що оброблюється ($\chi = 5,96 \cdot 10^{-6} m^2/s$; $\lambda = 24,7$ Вт/мК; $k = 0,9$), та середню температуру розкладу азотованого шару $T = 625^\circ C$, отримали: $\Delta = b - r = 5,2 \times 10^{-4} m = 0,52$ мм.

Експериментальні дослідження підтвердили справедливість отриманих розрахунків. Шар, в якому здійснюється дисоціація нітрідів, знаходиться в межах 0,17-0,55 мм (в залежності від параметрів обробки). Дисоціація починається при температурі $\geq 550^\circ C$, процес супроводжується падінням мікротвердості від Н-50 – 780-800 (у вихідному стані) до Н-50 – 269-464 (рис. 1).



а)

- 1 – $P=1,0$; $N=3$
- 2 – $P=1,1$; $N=3$
- 3 – $P=1,2$; $N=3$
- 4 – $P=1,3$; $N=3$



б)

5 – P=1,3; N=2

6 – P=1,1; N=2

7 – P=1,0; N=2

8 – P=1,0; N=1

9 – P=1,1; N=1

10 – P=1,3; N=1

Рис. 1. Розподіл мікротвердості по перерізу деталі після різних режимів лазерного відпалу: а – по режимах 1-4; б – по режимах 5-10. Вихідна твердість азотованого шару показана пунктирною лінією

При обробці по режимах 1-4 дисоціація нітридів відбувається на глибину менше ніж 0,2мм. У цьому разі ступінь дисоціації невеликий і твердість поверхні залишається на рівні Н-50 – 400-500. Використання режимів 5-7 забезпечує збільшення глибини дисоціації до 0,3-0,45мм (рис. 1,б), і твердість в шарі зменшується до Н-50-300. При обробці по режимах 8-10 в поверхневому шарі відбувається гартування з оплавленням, а на глибині (0,3-0,4) твердість зменшується, що свідчить про проходження процесу дисоціації нітридів. З аналізу кривих, які представлені на рис.1, видно що найбільш оптимальним є режим 5, який забезпечує достатню ступінь дисоціації на глибину $\geq 0,3$ мм. Це повністю задовольняє наші вимоги оскільки при наступній ЕЮ розігрів поверхні до температури, яка викликає дисоціацію нітридів, не перевищує величини 0,3мм. Тому зберігання нітридів на більшій глибині (0,4-0,5мм) вже не буде негативно впливати на властивості нанесеного покриття.

П'ятий розділ роботи присвячений дослідженню якості покриттів, що нарощуються при ЕЮ. Встановлено, що при збільшенні енергії імпульсу від $E_{i1}=0,9$ Дж до $E_{i2}=3,4$ Дж ерозія анода зростає. Це викликає збільшення доважка катоду в 2,0-2,4рази. Доважок катоду при ЕЮ також збільшується в випадку, якщо деталь і анод виробляються з одного матеріалу. При цьому досягається і найбільш якісний нарощений шар, оскільки виключається можливість появи тріщин з-за різних коефіцієнтів лінійного розширення.

Ерозійну стійкість інструменту - K_e оцінювали за критерієм Л.С. Палатніка:

$$K_e = C \cdot \rho \cdot \lambda \cdot T_{пл}^2, \quad (11)$$

де C – теплоємність, Дж/кг град(К); ρ – густина, кг/м³; λ – теплопровідність, Вт/м град(К); $T_{пл}$ – температура плавлення, К.

При збільшенні концентрації вуглецю і міри легованості досліджених матеріалів, у порівнянні зі сталлю Ст.3 критерій K_e зростає на 12,5-24,5%, а для чавуну - на 37,1% (табл. 3).

Таблиця 3.

Розрахунок ерозійної стійкості інструменту за критерієм K_e

Матеріал анода і катоду (однакові)	Значення показників				
	$C, \times 10^2,$ Дж/кг× ×град (К)	$\rho, \times 10^3,$ кг/м ³	$\lambda, \times 10^2,$ Вт/м× ×град (К)	$T_{пл},$ Град (К)	$K_e,$ ×10 ⁸
Ст. 3	0,45	7,7	45,4	1573	3,67
Сталь 45	0,45	7,7	45,4	1623	4,13
Сталь 40X	0,46	7,9	45,4	1673	4,61
Сталь ШХ15	0,46	7,3	55,0	1573	4,57
Легований чавун	0,5	7,0	62,5	1523	5,03

Результати розрахунків показали, що ерозійна стійкість анода для цих матеріалів зростає у напрямку: вуглецева сталь → сталь легована доевтектоїдна → заевтектоїдна легована сталь → чавун. При цьому товщина нанесеного покриття за однаковий час обробки буде тим менше, чим більше легований матеріал і чим більше він містить вуглецю. Однак, незважаючи на зменшення продуктивності процесу ЕІО, при збільшенні легованості і вмісту вуглецю з точки зору зносостійкості раціонально вибирати леговані матеріали анода.

Найбільш дешевим і доступним матеріалом є хром та електродні матеріали на основі хрому, тому він і був вибраний, як легувальний елемент. Випробування на зношування показали, що зносостійкість підвищується зі збільшенням кількості вуглецю в матеріалі анода. Однак в цих сплавах концентрація вуглецю не повинна бути вище ніж 2,5%, тому що виділяється значна кількість карбідної фази, що підвищує схильність до графітизації і веде до неоднорідного зношування та викришування.

При відновленні деталей з чавуну важливим фактором є графітизація. Лабораторним моделюванням показано, що введення хрому в високовуглецевий сплав знижує (в 1,1-2,0рази) схильність до графітизації навіть при роботі в умовах високих температур і пластичної деформації. Наявність в покритті інших карбидоутворюючих елементів не так значна.

На якість покриття впливає і енергія імпульсу, найбільш якісний хоча і найменший за величиною шар при ЕІО формується при обробці з більш низькою енергією імпульсу. При цьому більша суцільність покриття досягається меншим діаметром одиничної лунки, а більша густина нанесеного шару – зменшенням його пористості.

На товщину покриття як було показано вище, впливають такі фактори, як E_i , n та хімічний склад матеріалу анода. Дослідженнями впливу хімічного складу сплаву анода і параметрів обробки отримана математична залежність, яка дозволила оцінити доважок катоду:

$$Y=0,84-0,38X_1-0,18X_2+0,83X_3+0,73X_4-0,48X_1X_3-0,33X_2X_3+0,32X_4X_3-0,12X_1X_4-0,12X_2X_4+0,62X_1X_2X_3+0,52X_1X_2X_4-0,48X_1X_3X_4-0,28X_2X_3X_4+0,28X_1X_2X_3X_4 \quad (12)$$

Максимальний приріст доважку катода досягається при впливі кожного фактору в окремість: енергія імпульсу – $E_i=3,4$ Дж (X_3); число проходів електродом -

$n=6$ (X_4); концентрація хрому - 10% (X_2) і вуглецю - 0,5% (X_1). Вміст вуглецю і хрому в аноді спільно не справляють впливу на доважок катода, однак їхня роль виявляється в поєднанні з технологічними факторами.

В залежності від кількості C і Cr в аноді структура нанесеного шару може бути феритною (для матеріалу анода сталь 20X1M1Ф1TP), аустенітною (сталь 10X13, 30X13) з включенням карбідних фаз, а також мартенситною (ШХ15) завдяки високим швидкостям охолодження при кристалізації. Характер структури буде визначати твердість та інші характеристики нанесеного покриття. В роботі встановлено, що значний вплив на твердість нанесеного покриття має явище насичення його азотом (до 0,11%), який надходить з повітря міжелектродного зазору. Це забезпечує досягнення твердості Н-50-550-570 навіть в шарі з феритною структурою.

Зміна концентрації основних елементів по периметру нанесеного покриття залежить від матеріалу використаного електрода. Для анода, який містить у собі хром, розкид концентрації основних компонентів в поверхневому шарі не перевищує 5%. Для матеріалів анода, які містять карбіди елементів (сплав Т15К6), розкид досить значний (досягає 28%). Тому використання таких електродів вважається небажаним, незважаючи на високу твердість покриття.

Якість нанесеного шару покриття обумовлюється не тільки його товщиною. Як встановлено методами емісійного спектрального і рентгенівського фазового аналізу, при використанні для обробки числа проходів електрода менше трьох в нарощеному шарі формується дисперсна структура на базі хімічних елементів, які входять до катода і анода завдяки перемішуванню металу. При збільшенні числа проходів хімічні елементи катода в шарі будуть відсутні. З другого боку при підвищенні n збільшується частка оксидних і відособлених карбідних включень та мікропор, що погіршує якість покриття. Крім того, збільшення n викликає нагрів металу на більшу глибину, що призводить до знеміцнення перехідної зони. Таким чином, оптимальним слід вважати $n=3-4$.

Перехідна зона (змішування та термічного впливу) характеризується неоднорідними властивостями по периметру і глибині зміцнення, особливо при нанесенні покриттів за більш ніж три проходи електродом. Її якість поліпшується при використанні ППД.

Сформульовані вимоги, що пред'являються до покриттів нанесених методом ЕІО: шорсткість поверхні після ЕІО з наступним ППД не повинна перевищувати $R_z=0,63\text{мкм}$; твердість нанесеного шару має бути не менш ніж Н-50 - 550-570 (розкид значень до 5-8%); міцність зчеплення – на рівні міцності матеріалу основи.

Шостий розділ присвячено промислового випробовуванню і впровадженню у виробництво виконаних розробок. На основі лабораторних досліджень запропоновано ефективні матеріали та параметри нанесення покриття електроіскровою обробкою для різних виробів. Оброблена промислова партія штоків зі сталей 40X, 45X в умовах Пересічанського і Старосалтівського РТП. Для обробки використовували хромовий електрод 30X13 і такі параметри: кількість проходів – три; струм короткого замикання $I_{кз}=135\text{А}$; робоча напруга $V_p=80\text{В}$; енергія імпульсу $E_i=3,4\text{Дж}$; $I_p=69\text{А}$; $n_d=15\text{об/мин}$; $S=2\text{мм}$. Навантаження на ролик при ППД складало 30МПа. При цьому шорсткість поверхні забезпечувалася на рівні $R_z=0,63\text{мкм}$, а товщина

покриття 0,8-1,0мм з середньою мікротвердістю до Н-50 - 550-570.

Порівняльними випробуваннями на зношування встановлено, що зносостійкість штоків при відновленні методом електроіскрової обробки зростає в 1,48-1,94рази (в середньому – 1,7) у порівнянні з традиційною технологією відновлення при меншій собівартості нанесення покриття.

Для Зміївської ГРЕС розроблено ТЛЗ на створення спеціалізованої дільниці по відновленню та зміцненню штоків зі сталі 20X1M1Ф1TP електродом з матеріалу 10X13 на базі АТ “Турбоатом”. Воно включає номенклатуру деталей, що оброблюються, і необхідне обладнання, а також параметри технологічного процесу нанесення та зміцнення покриття: число проходів електроду – три; перший шар наноситься по режиму $E_1=0,03\text{Дж}$, $I_p=6-8\text{А}$, другий і третій проходи $E_1=1,6\text{Дж}$, $I_p=14-17\text{А}$; робоча напруга $V_p=80\text{В}$; швидкість дискового електроду 0,4-0,5мм/с; подача електроду $S=1\text{мм}$; навантаження на обкатник 30МПа. При цьому товщина нанесеного покриття складає 0,15-0,16мм з середньою мікротвердістю до Н-50 - 700-720. Фактичний економічний ефект від впровадження розробок в умовах виробництва в Пересічанському РТП та Зміївській ГРЕС склав 139,54тис. грн. на рік.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз існуючих методів, які використовуються для нанесення компенсуючих знос покриттів показав, що найбільш ефективними є способи з використанням висококонцентрованих джерел енергії, які не призводять до структурних змін в серцевині деталі і не погіршують їх втомну міцність.

Найбільш доступним є метод електроіскрової обробки, який забезпечує можливість локального нанесення покриття, проведення обробки з різними параметрами для кожного електроду, отримання однорідної структури з заданими властивостями при кристалізації і може бути використаний без великих матеріальних затрат на різних ремонтних підприємствах.

2. Сформульовані умови одержання ефективних покриттів на довгомірні деталі при їх відновленні електроіскровим методом. Вони включають вимоги до хімічного складу матеріалу анода, регулювання товщини покриття, його фазового складу і структури, суцільності нанесеного шару, міцності зчеплення, рівня твердості і шорсткості.

3. Встановлено, що найбільш ефективними матеріалами анода є матеріали, леговані хромом (10X13, 30X13, 10X18H10T, ферохром), які забезпечують необхідну довговічність відновлюваних деталей за рахунок міцності зчеплення покриття з основою (не нижче міцності матеріалу основи), коефіцієнта суцільності нанесеного шару (не нижче 97%), формування структур з високою твердістю (не менше Н-50-550-570), зносостійкістю, жароміцністю.

Розроблена математична залежність, яка описує вплив хімічного складу матеріалу анода (вміст вуглецю і хрому) та параметрів обробки на товщину покриття. Для забезпечення якісного покриття число проходів електродом не повинно бути вище 3-4^{-x}, а повздовжня подача не більше 1мм/об.

4. Оцінена кінетика зміни хімічного складу покриття в процесі його нарощування методом ЕЮ електродами з різних сплавів. Виявлена зміна концентрації компонентів покриття з урахуванням їх вмісту в аноді. Визначено час, в період якого вміст компонентів стабілізується і з'являються фази з азотом. Вивчені закономірності розподілу хімічних елементів та склад фаз по глибині покриття і зони термічного впливу. Зі збільшенням ступеню легованості і частки вуглецю в катоді середня глибина зони термічного впливу, починаючи з 4^{-x} проходів, істотно зростає.

Для підвищення якості покриття рекомендовано використовувати ППД з навантаженням 30МПа. Поверхнєве пластичне деформування покриття, нанесеного методом ЕЮ, з одного боку підвищує суцільність покриття і зменшує його шорсткість, а з другого боку створює стискувальні напруження в поверхневому шарі, що сприяє підвищенню довговічності відновлених деталей.

5. Розроблені рекомендації з підготовки робочої поверхні зношених деталей. Для деталей, в яких в процесі експлуатації не відбувається суттєвої зміни фазового складу в поверхневому шарі, а присутні лише мікротріщини глибиною до 5мкм (штоки гідроциліндрів сільськогосподарських машин зі сталей 40Х, 45Х, колінчасті вали з сірого чавуну), необхідно видалити пошкоджений шар і провести загальні операції відновлення.

При відновленні азотованих деталей перед відновленням необхідно здійснити дисоціацію нітридів. Для цього запропоновано метод розкладу азотованого шару шляхом обробки лазерним променем, який дозволяє здійснювати дисоціацію нітридів на глибину до 0,17-0,55мм (в залежності від режимів лазерної обробки). Виконано математичне обґрунтування режимів лазерної обробки деталей та визначені оптимальні параметри ($P=1,15 \times 10^3$ Вт; $S=D=4 \times 10^{-3}$ м; $n=0,29c^{-1}$).

6. Проведено промислове випробування та впровадження електроіскрового метода нанесення покриттів для деталей різного призначення.

В умовах Пересічанського РТП оброблена промислова партія штоків зі сталей 40Х, 45Х електродом 30Х13, що забезпечило підвищення їх зносостійкості в 1,6 рази. Одержано економічний ефект 42,16тис. грн.

Для Зміївської ГРЕС розроблено ТЛЗ (на базі АТ "Турбоатом") на створення спеціалізованої дільниці по відновленню та зміцненню штоків зі сталі 20Х1М1Ф1ТР електродом 10Х13. Відновлення штоків по цій технології забезпечило підвищення їх стійкості в 2 рази, що дало економічний ефект в 97,54тис. грн.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

В фахових виданнях: 1. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Авак Э.А., Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В. Упрочнение втулок гидронасосов из алюминиевых сплавов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1995. - № 11. - С.24-25. (Автором проведено комплекс досліджень по впливу лазерного випромінювання при обробці цим методом, побудовані графічні залежності, розроблено методику розрахунку температурного поля).

2. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д., Иванов В.И.

Влияние химического состава и пластической деформации на склонность к графитизации высокоуглеродистых сплавов // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1996. – С.56-62. *(Автором проведено дослідження по впливу деформації на графітизацію, узагальнені матеріали).*

3. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д. Механизм износа плунжеров роторных насосов // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1996. – С.28-32. *(Здобувачем проведено збір і узагальнення інформації та результатів досліджень).*

4. Мартыненко А.Д. Исследование распределения химических элементов в слое после электроискровой обработки // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1997. – С.140-146.

5. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д. Исследование влияния химического состава анода на величину и качество слоя, восстановленного электроискровым методом // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1997. – С.75-81. *(Автором запропонована схема експерименту, математична залежність, побудовані графічні залежності).*

6. Скобло Т.С., Науменко А.А., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д., Полищук И.В. Изучение напряженного состояния наращенного слоя после ЭИО // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1999. – С.63-67. *(Автором проведено експерименти по впливу параметрів обробки на формування нанесеного шару, побудовані графічні залежності).*

7. Мартыненко А.Д. Поверхностное упрочнение штоков методом ЭИО // Сб. науч. тр.: Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков: ХГТУСХ, 1999. – С.170-173.

8. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В. Способ восстановления и упрочнения деталей обработкой лазерным лучом // Вісник ХДТУСГ: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вып. 4. – Харьков: ХГТУСХ, 2000. – С. 82-86. *(Здобувачем проведено збір і узагальнення інформації і результатів досліджень).*

9. Скобло Т.С., Мартыненко А.Д., Солодовник В.В. Разработка конструкции электрододержателя, обеспечивающего повышение производительности процесса электроискровой обработки // Вісник ХДТУСГ: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вып. 8, Т. 2. – Харьков: ХГТУСХ, 2001. – С. 245-250. *(Автором проведено експерименти по впливу конструкції електродів при ЕІО на формування нанесеного шару, суцільність покриття та продуктивність процесу).*

10. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В. Математическое обоснование режима лазерной обработки деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке, для повышения прочности восстанавливаемых покрытий // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. Сб. науч. тр. тем. вып. “Динамика и прочность машин”. Вып. 10. Т.2. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2002. - С. 138-160. *(Автором проведено дослідження по впливу параметрів лазерної обробки на розпад азотованого шару, зібрані та обґрунтовані матеріали досліджень, виведено математичну залежність).*

11. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д. Лазерная обработка деталей, подвергнутых химико-термической обработке. // Сб. докладов 3^{-й} Международной конференции ОТТОМ-3 "Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов" Ч.1. – Харків: ННЦ ХФТІ, ИПЦ "Контраст". 2002р - С.220-222. *(Здобувачем проведено дослідження, збір і узагальнення інформації та їх результатів).*

12. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В. Метод восстановления длиномерных деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке // Вісник ХДТУСГ: Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вип. 13. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – С. 3-7. *(Автором проведено експерименти, збір і узагальнення інформації по відновленню деталей, попередньо підданих хіміко-термічній обробці).*

В інших виданнях: 13. Скобло Т.С., Сидашенко О.І., Мартиненко О.Д., Науменко А.А. Вплив параметрів обробки та електродного матеріалу на якість та властивості відновленого шару методом електроіскрового нарощування // Сб. тр. II науч.-пр. конф.: Перспективы развития механизации, автоматизации и технического сервиса сельскохозяйственного производства. – Полтава: ПГСИ, 1997. - С.32 - 35. *(Автором проведено експерименти по впливу параметрів обробки на формування нанесеного шару).*

14. Мартиненко О.Д. Дослідження впливу параметрів ЕЮ на формування нарощувального шару та стійкість анода // Зб. доповідей молодих вчених: Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук. – Полтава: ПДСГІ, 1997. - С.275-281.

15. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д., Хохлов А.Т., Триполко В.К., Триполко П.К. Разработка технологического процесса повышения твердости стали 30X13. // Сб. тр. Научно-практической конф.: "Концентрированные потоки энергии в обработке и соединении материалов". – Пенза: Издательство ПРДЭНТП, 1991. – С.80-82. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження та узагальнені матеріали експериментів).*

16. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Науменко А.А., Мартыненко А.Д., Слоновский Н.В. Метод восстановления длиномерных деталей, предварительно подвергнутых химико-термической обработке // Труды 5^{-ой} Междунар. науч.- прак. конф. "Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве". – Харьков: ХНПК "ФЭД". 2002. – С. 367-371. *(Автором проведено дослідження по впливу лазерної обробки на розпад азотованого шару, зібрані та оброблені матеріали досліджень).*

17. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Мартыненко А.Д., Хохлов А.Т., Рудюк А.С. Разработка технологии поверхностного упрочнения штоков // Информационный листок №128. – Харьков: Харьковский ЦНТЭИ. 1993. - 0,40п.л. *(Автором проведено комплекс досліджень, проведена модернізація обладнання, побудовані графічні залежності).*

Мартиненко О.Д. Підвищення довговічності довгомірних деталей шляхом нанесення покриттів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 "Матеріалознавство". Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2003.

Дисертація спрямована на підвищення експлуатаційних властивостей довгомірних деталей машин та агрегатів (штоків, валів, валів-шестерен, плунжерів) нанесенням покриттів електроіскровою обробкою (ЕІО).

Встановлені кількісні параметри масопереносу при ЕІО в залежності від матеріалу анода і режимів обробки та досліджені фізичні процеси, що обумовлюють формування структури покриття і його якість. Запропонована розрахункова схема процесу утворення нерівностей, оцінена залежність впливу струму іскрового розряду на діаметр одиничної лунки.

На основі комплексних досліджень різних матеріалів анода встановлено, що найбільш ефективними для забезпечення довговічності відновлених деталей є матеріали леговані хромом (10X13, 30X13, ферохром), які забезпечують високе зчеплення нанесеного шару з основою, однорідність властивостей по перерізу та периметру покриття, формування структур з високою твердістю, зносостійкістю, жароміцністю.

Встановлено взаємозв'язок між хімічним складом матеріалу анода, параметрами обробки, режимами поверхневого пластичного деформування (ППД) і кінетикою формування покриття, його товщиною, коефіцієнтом суцільності і шорсткістю. Сформульовані вимоги до покриттів, нанесених методом ЕІО.

Теоретично обґрунтовані і експериментально оцінені параметри локального відпалу лазерним променем для забезпечення рівномірної дисоціації нітридів на оптимальну глибину (170-550мкм), що дозволяє отримати необхідну якість покриття при ЕІО деталей з попереднім азотуванням. Виявлений зв'язок між вихідною структурою поверхні деталі після зношування та параметрами лазерної обробки для її деазотування.

Промислове випробовування та впровадження розробок забезпечило фактичний економічний ефект, що дорівнює 139,54 тис. грн.

Ключові слова: покриття, матеріал, масоперенос, формування структури, фазовий склад, довгомірні деталі, зміцнення, термічна обробка, електроіскрова обробка, твердість, обробка лазерним променем, експлуатаційні властивості, відновлення деталей.

АННОТАЦІЯ

Мартыненко А.Д. Повышение долговечности длинномерных деталей путем нанесения покрытий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01-"Материаловедение". Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Харьков, 2003.

Диссертация направлена на повышение эксплуатационных свойств длинно-

мерных деталей машин и агрегатов (штоков, валов, валов-шестерен, плунжеров) нанесением покрытий электроискровой обработкой (ЭИО).

Установлены количественные параметры массопереноса при ЭИО в зависимости от материала анода и режимов обработки, а также исследованы процессы, обуславливающие формирование структуры покрытия и его качество. Определен промежуток, в период которого содержание химических элементов стабилизируется, и появляются новые азотсодержащие фазы за счет разложения компонентов воздуха. Предложена расчетная схема процесса образования неровностей и шероховатости при электроискровой обработке. Оценена зависимость влияния тока искрового разряда на диаметр единичной лунки. При увеличении тока искрового разряда от 15 до 80А диаметр лунки возрастает с 0,3 до 1,4мм.

Показано, что помимо α -Fe, γ -Fe, спецкарбидов, карбонитридов в слое выявляются чистые элементы анода. Это подтверждает, что при обработке имеет место механизм переноса через межэлектродный промежуток атомов и ионов этих компонентов.

Установлено, что наиболее эффективными материалами анода являются материалы, легированные хромом (10X13, 30X13, 10X18H10T, феррохром), которые обеспечивают необходимую долговечность восстанавливаемых деталей за счет высокой прочности сцепления покрытия с основой (не ниже прочности материала основы), коэффициента сплошности слоя (не ниже 97%), формирования структур с высокой твердостью (не менее Н-50-500-570), износостойкостью, жаропрочностью.

Разработана математическая зависимость, описывающая влияние химического состава материала анода (содержание в нем углерода и хрома) и параметров обработки на толщину покрытия, формируемого при ЭИО. Для обеспечения качественного покрытия число проходов электродом не должно превышать $3 \cdot 4^{-x}$, а продольная подача – 1мм/об.

Для повышения качества покрытия, нанесенного электроискровым методом, предложено использование ППД (с оптимальной нагрузкой 30МПа). Для этого разработано приспособление, которое с одной стороны повышает сплошность покрытия и уменьшает его шероховатость, а с другой – создает сжимающие напряжения в поверхностном слое, что способствует повышению долговечности восстанавливаемых деталей. Использование разработанной технологии обеспечивает шероховатость поверхности $R_z=0,63\text{мкм}$ и толщину нанесенного покрытия до 0,8-1,0мм

Разработаны рекомендации по подготовке рабочей поверхности изношенных деталей. Для деталей, в поверхностном слое которых при эксплуатации не происходит существенных изменений в фазовом составе, а наблюдаются только микротрещины глубиной до 5мкм (штоки гидроцилиндров сельскохозяйственных машин из сталей 40X, 45X, коленчатые валы из серого чугуна), необходимо удалять поврежденный слой и затем осуществлять общие операции восстановления.

При восстановлении деталей, прошедших химико-термическую обработку (в частности, азотирование), после эксплуатации частично сохраняется упрочненный

слой, который должен быть удален или разложен перед нанесением покрытия. Для азотированных деталей перед нанесением покрытия методом ЭИО предложен метод разложения азотированного слоя путем обработки лазерным лучом, который вызывает диссоциацию нитридов на глубину до 0,17-0,55мм (в зависимости от режимов лазерной обработки). Теоретически обоснованы и экспериментально оценены параметры локального отжига лазерным лучом для обеспечения равномерной диссоциации нитридов на оптимальную глубину, что позволяет получить необходимое качество покрытия.

Промышленное опробование и внедрение метода электроискрового упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники и оборудования подтвердило эффективность выполненных разработок. В условиях Пересечанского РТП методом ЭИО обработана промышленная партия штоков из сталей 40Х, 45Х электродом 30Х13. Это обеспечило повышение их износостойкости в 1,6 раза и дало экономический эффект в размере 42,16 тыс. грн. в год.

Для Змиевской ГРЭС разработано технологическое задание на проектирование участка электроискрового упрочнения штоков узла парораспределения турбин (в условиях АО "Турбоатом") из стали 20Х1М1Ф1ТР электродом 10Х13. Получен экономический эффект в размере 97,54 тыс. грн. при повышении стойкости штоков в 2 раза.

Ключевые слова: покрытие, материал, массоперенос, формирование структуры, фазовый состав, длинномерные детали, упрочнение, термическая обработка, электроискровая обработка, твердость, обработка лазерным лучом, эксплуатационные свойства, восстановление деталей.

ABSTRAKT

Martynenko A.D. Increase of service life of long-length machine parts by way of coating. – Manuscript.

The thesis for degree of candidate of technical sciences on speciality 05.02.01. - "Materials Science". The Kharkiv National Automobile and Highway University. Kharkiv, 2003.

The thesis is aimed at increasing the service characteristics of long-length parts in machines and units – rods, shafts and plungers – by way of coating them with electro-spark processing (ESP). The quantitative parameters of mass transfer during ESP depending on processing schedule have been determined. The physical processes controlling structure formation and coating quality have been investigated. Calculated scheme for coating roughness formation has been proposed. It has been found that the most effective material which assures high service life of restored parts are chromium-containing steels and alloys (10X13, 30X13, ferrochromium) due to high adhesion of coating with the basic metal, properties, uniformity, formation of structures with high hardness, wear resistance, hot strength.

The relation between anode material chemical composition, processing schedule, surface plastic deformation parameters and coating formation kinetics, its thickness, continuity factor and roughness has been established. Requirements for coating obtained

by ESP have been formulated.

The parameters of local laser annealing for nitride dissociation at optimum depth (170-550mcm) have been theoretically justified and experimentally estimated. This treatment assures necessary quality of coating for the parts with previous nitriding. The association between the structure of worn surface and laser treatment parameters for nitrated parts has been found.

Commercial test with introduction of the mentioned developments has provided real economical effect equal to 139,54 thousand hryvnias.

Key words: coating, material, mass transfer, structure formation, phase composition, strengthening, heat treatment, electro-spark processing, laser beam treatment, service properties.

Відповідальний за випуск: С.І.Васильєв

Підписано до друку
04.02. 2003р

Формат паперу 60×84 1/16
Обл. - вид. ар.

Папір офсетний

Віддруковано на ризографі
TR1510 №80654645

Зам. № 00023/2003
від 04.02.2003р.

Обсяг 1,0 друк. арк.
Тираж 100 прим.

Адреса редакції та поліграфпідприємства
61002, м. Харків, вул. Артема, 44, кім.101

Навчально-методичний центр по заочній формі навчання
у закладах освіти 3-4 рівнів акредитації аграрного профілю