

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

КУЛІЧЕНКО АНАТОЛІЙ ЯКОВИЧ

УДК 629.46

**НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА ВАНТАЖНИХ ЗАСОБІВ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Львівській філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Міністерство інфраструктури України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Босов Аркадій Аркадійович

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, кафедра прикладної математики

доктор технічних наук, професор

Полянський Олександр Сергійович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра машинобудування і ремонту машин

доктор технічних наук, професор

Тартаковський Едуард Давидович

Харківська державна академія залізничного транспорту, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, завідувач кафедри

Захист відбудеться «__» __ 2011 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2

Автореферат розісланий «__» _____ 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Домінуючою задачею перевезень вантажів залізничним транспортом є підвищення його ефективності та безпека в експлуатації вантажних засобів рухомого складу, тому безперервно і цілеспрямовано здійснюються роботи по розвитку матеріально-технічної бази залізниці, основною складовою якої є вагоноремонтні підприємства. Від чіткої і злагодженої роботи всіх підрозділів даних спеціалізованих підприємств залежить безперервність і безпека руху поїздів та своєчасне забезпечення перевезень технічно справним рухомим складом. Зростання обсягу вантажних перевезень стальними магістралями є неможливим без вдосконалення вагоноремонтної бази, ефективного використання виробничих потужностей, оптимальної реалізації існуючих та розробки і впровадження нових технологій ремонтних робіт.

На даний час у вагоноремонтному виробництві впроваджені техпроцеси ремонтно-відновлювальних робіт по підвищенню міцності, надійності та довговічності деталей, вузлів та конструкцій вантажних засобів залізниці. Але значна кількість одиниць вантажних засобів колійного транспорту, які направляються на вагоноремонтні підприємства, мають поряд із експлуатаційними зношуваннями елементів, ще й значне руйнування матеріалу деталей і конструкцій внаслідок утворення поверхневого корозійного нашарування, викликаного як впливом атмосферних і технічних уражень, так і внаслідок дії транспортованих хімреактивів.

Поширені у вагоноремонтному виробництві ряд методів і засобів захисту поверхні металу від корозійного ураження та забезпечення його тривалого збереження є не досить ефективними, оскільки недостатньо вирішена основна задача - підготовка поверхні перед нанесенням захисного покриття. На діючих вагоноремонтних підприємствах традиційно технологічні процеси нанесення поверхневого захисту на елементи вагонів відносяться до завершальних етапів ремонту і вони відокремлені від загальних техпроцесів ремонтних робіт, що пояснюється специфікою консервації поверхні, складністю конструкцій та громіздкістю технологічного обладнання, розташованого у більшості своїй за межами виробничих цехів. Таке розмежування техпроцесів ускладнює ритмічність загального виробничого процесу і не сприяє інтенсифікації та узгодженості ремонтних робіт, суттєво впливає на терміни перебування вагонів у текучому ремонті.

Актуальність проблеми полягає у необхідності модернізації вагоноремонтних виробництв шляхом впровадження сучасних високопродуктивних екологічно чистих ресурсо- та енергозощаджуючих технологій ремонту вантажних засобів залізниці, здатних комплексно поєднувати процеси як якісного формування поверхневого шару виробів, так і одночасної його підготовки перед нанесенням захисного антикорозійного покриття, що можливо лише за умови розробки нових технічних рішень та технологій.

Зв'язок теми дисертації з напрямками науково-дослідних робіт. Основні теоретичні дослідження та практичні впровадження авторських технічних розробок проводились співшукачем у Львівській філії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна згідно госпдоговірних тематик 1.8407-31.0188 "Дослідження пошкоджень осей колісних

пар вантажних вагонів та визначення терміну їх експлуатації” та 33.155 “Дослідження руйнувань колісних пар вагонів вантажних перевезень та розробка рекомендацій щодо подальшого їх використання” (ДР 010800030630).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту на базі створення науково-технологічних основ шляхом розробки ітераційно-рекурентних методик проектування формозмінюючих і очисно-зміцнюючих технологічних процесів і реалізуючого обладнання та оснащення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

1. Провести аналіз сучасного стану та перспектив розвитку ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту в частині застосування очисно-зміцнюючих технологічних процесів і реалізуючого оснащення та обладнання.

2. Розробити і реалізувати основні концептуальні методи процесів руйнування та видалення з поверхні деталей шарів залишкових відкладень органічних та композитних матеріалів і методів відновлення таких поверхонь з підвищеними механічними властивостями.

3. Розробити математичну модель механізму очисно-зміцнюючих технологічних процесів формозмінення та якісного формування поверхонь великогабаритних конструкцій, вузлів і деталей вантажних вагонів при пружно-пластичному деформуванні.

4. Розробити математичну модель механізму очисно-зміцнюючих технологічних процесів якісного формування поверхонь виробів від теплового впливу біжучого миттєвого високотемпературного електророзряду та модель комплексної обробки при суміщеній дії теплового та динамічного факторів.

5. Розробити теоретичні основи аналізу та синтезу системи ефективної структурної та параметричної оптимізації очисно-зміцнюючих процесів ремонту вантажних засобів залізничного транспорту.

6. Розробити систему класифікації деталей вантажних вагонів і методіку проектування технологічних процесів очисно-зміцнюючої обробки та реалізуючого обладнання та оснащення.

7. Розробити математичну модель встановлення оптимальних технологічних режимів процесу механічної та термомеханічної очистки та зміцнюючої поверхню обробки окремих деталей та великогабаритних конструкцій засобів вантажного залізничного транспорту.

8. Реалізувати інтегроване комп’ютерно-програмне забезпечення технологічної підготовки ремонтного виробництва на основі концепції технологічного забезпечення та моделювання техпроцесів поверхневої формозмінюючої та очисно-зміцнюючої обробки.

9. Розробити нові конструкції високопродуктивного екологічно чистого ресурсо- та енергозаощаджуючого технологічного обладнання та оснащення з розширеними технологічними можливостями та провести техніко-економічне порівнювання з існуючими методами і засобами підготовки до ремонту елементів вагонів.

Об’єкт дослідження - очисно-зміцнюючі процеси ремонту деталей вантажних залізничних вагонів.

Предмет дослідження - технологічні процеси очисно-зміцнюючого ремонту деталей вантажних вагонів залізничного транспорту.

Методи дослідження – основні положення технології металообробки, теорії

ймовірності, математичного аналізу та числових методів вирішення диференціальних рівнянь, теорії моделювання та оптимізації, евристичного прогнозування, методи ітераційного та варіаційного числення, методи тензометрії та статистичної обробки експериментальних результатів.

Достовірність теоретичних положень, висновків і рекомендацій роботи підтверджено результатами експериментальних досліджень та практикою промислового впровадження нових технологій, установок та інструментів.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі реалізовано нову концепцію ремонтного виробництва, яка полягає у поєднанні та одночасному застосуванні формозмінюючих та очисно-зміцнюючих технологій на основі нових технологічних процесів комплексної очисно-зміцнюючої поверхневої обробки елементів конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту. Для цього **вперше**:

1. На основі дослідження процесів адгезії між поверхнею металу та шару плівки масложирового відкладення різних динамічних коефіцієнтів в'язкості встановлено мінімальне тангенціальне зусилля для їх сегрегації. На основі встановлення взаємозв'язку між межею міцності та твердістю у матеріалах атмосферної, електрохімічної та технологічної корозії, прокатної окалини, розроблено механізм їх руйнування, що дозволить призначати необхідні технологічні режими обробки для видалення наведених органічно-композитних накопичень з поверхонь великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей залізничних вантажних вагонів та котлів цистерн.

2. Розроблена теоретична модель очищення та якісного формування поверхневих шарів деталей та великогабаритних конструкцій вантажних засобів залізниці за рахунок способу пружно-пластичного деформування в залежності від фізико-механічних особливостей матеріалів обробки, що ґрунтується на основі встановленого механізму руйнування поверхневих органічно-композитних накопичень. Це дає змогу, на відміну від відомих методів пружно-пластичного деформування, застосовувати нетрадиційний технологічний інструмент, де в якості робочих елементів застосовуються гнучкі та жорсткі елементи, які здатні формувати поверхню виробів з необхідними показниками її шорсткості, степенню зміцнення поверхневого шару та стабілізованими внутрішніми залишковими напруженнями.

3. Розроблений механізм впливу біжучого миттєвого високотемпературного електророзряду на поверхню обробки елементів вантажних вагонів на основі рішення крайової задачі нестационарного поширення теплового потоку всією товщиною поверхневого нашарування композиту за умови різних фізико-механічних характеристик кожного із шарів. При відсутності аналогів у сучасній практиці, це дозволяє за допомогою технологічного інструменту з гнучкими робочими елементами здійснювати руйнування монолітності та видалення поверхневого композиту з будь-якою степенню його твердості, видаляти товстий і важко піддатливий шар литтєвого пригару та очищувати від облою та формувати зварювальні шви.

4. Виявлені та реалізовані закономірності комплексної інтеграції якісного формування та формо змінення поверхневих шарів деталей, вузлів та великогабаритних конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту під дією суміщеного термомеханічного та пружно-динамічного впливу. При відсутності аналогів у сучасній практиці, це дозволяє, використовуючи метод математичного прогнозування для призначення даному виробу необхідних технічних

характеристик, здійснювати початкове поверхневе очищення для підготовки елементів вагонів до діагностики руйнування та ремонтних робіт і наступного технологічного комплексу ремонтно-відновлювальної роботи, характерної якісним формуванням поверхні деталей комбінованими інструментами з гнучкими та жорсткими робочими елементами для здійснення технологічних операцій з підготування поверхні металу перед нанесенням антикорозійного покриття і забезпечення необхідними для надійної експлуатації виробу якісними характеристиками поверхневого шару матеріалу.

5. *Подальшого розвитку* набув науковий підхід щодо основи аналізу та синтезу ефективної структурної та параметричної оптимізації інтегрованих формозмінюючих і очисно-зміцнюючих технологічних процесів ремонту деталей та великогабаритних конструкцій вантажних засобів колійного транспорту, вирішений на основі синтезу множини парето-оптимальних рішень, з визначенням переважаючих критеріїв оптимальності та призначення показників оптимізації процесу - технологічний процес ремонту, його енергоємність та показника екологічної безпеки ремонтних робіт, що на відміну від існуючих методів оптимізації дозволяє оптимізувати процес механічної і термомеханічної обробки поверхні деталей, де в якості домінуючого критерію прийнято показник ефективності ремонтних робіт – приведені витрати, встановлений згідно методів варіантної та параметричної оптимізації основних критеріїв техпроцесу, в якому методом візуалізації множини можливих векторів отримана просторова система.

6. Розроблена система класифікації деталей вантажних вагонів, яка на відміну від інших відомих систем, ґрунтується на основі логічної операції розподілу множини складових елементів засобів рухомого складу на окремі групи (підмножини), що задовольняють формальні вимоги, виражені як сума підмножини, що дають вихідну множину класифікованих об'єктів (деталей), кожен з яких входить до якогось одного класу з властивими йому характерними і узагальнюючими критеріями. На основі даної системи класифікації деталей можлива розробка методики проектування технологічних процесів очисно-зміцнюючої обробки, які полягають у проектуванні технологічного маршруту ремонтних робіт і визначенні оптимальної структури окремих операцій. Крім того, розроблена класифікація дозволяє, узагальнивши характерні особливості кожної окремо взятої деталі, створити груповий технологічний процес ремонтно-відновлювальних робіт.

7. *Удосконалено* методику проектування очисно-зміцнюючого технологічного реалізуючого обладнання та оснащення, призначених для ремонту залізничних вантажних вагонів та котлів цистерн, яка відрізняється від відомих методик, враховуючи вузькоспеціалізоване призначення даного виду технологічного обладнання, можливістю проектування згідно системи модулів, де кожен окремий модуль адаптований до певної типової групи деталей, вузлів та великогабаритних конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту з урахуванням розробленої математичної моделі встановлення необхідних технологічних режимів процесу механічної та термомеханічної очистки та зміцнюючої поверхню обробки. Це дасть змогу при підготовці до ремонту і безпосередньо у процесі ремонтних робіт проектувати, виготовляти і застосовувати оптимальні і дешеві конструкції технологічного обладнання та оснащення, що вигідно відрізняються від існуючих методик проектування в першу чергу своїми можливостями якісно і з високою продуктивністю

формувати поверхню основного металу виробів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні технологічних методик якісного формування поверхневих шарів деталей, вузлів і великогабаритних конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту, аналізу та синтезу процесу термомеханічного формо-змінення та безпомилково встановлювати якісні технологічні властивості об'єктів ремонтного виробництва.

Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення реалізації технологічних процесів якісного формування та підготовки для нанесення антикорозійного покриття робочих поверхонь деталей та великогабаритних конструкцій вантажних засобів залізниці.

На прикладному рівні запропонована інженерна методика комплексної очисно-зміцнюючої обробки великогабаритних конструкцій, вузлів і деталей вантажних вагонів. Розроблене програмне забезпечення для реалізації такої методики дає можливість вирішення в автоматизованому режимі задач вибору необхідних для експлуатації якісних характеристик.

Розроблена методика проектування технологічного обладнання та оснащення. Створено на рівні винаходів оригінальні конструкції технологічного обладнання та інструменту для вагоноремонтного виробництва.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у вагонному депо ВЧД-2 Дрогобич (Львів. залізниця) для очистки вагонних колісних пар та зовнішньої поверхні котлів залізничних цистерн перед їх повторним фарбуванням (акт впровадження від 4.04.2006 р.); у вагоноремонтному депо ВЧД-4 Клепарів (Львів. залізниця) для очистки і якісного формування поверхні деталей колісних пар залізничних вагонів (акт впровадження від 24.01.2006 р.); на Петрівському заводі стінових матеріалів і конструкцій (м.Київ) для очистки від продуктів корозії штабових закладних деталей з/бетонних конструкцій перед їх оцинкуванням (акт впровадження від 11.05.1992 р.; НДР № 5763, ЛПІ НДЛ-39) та виліток від литтєвого пригару (договір на передачу н/т продукції № 6098 від 26.01.1997 р.; ДУЛП НДЛ-39); на ВО верстатів-автоматів (м.Київ) для обробки внутрішніх поверхонь отворів, фігурних контурів і ребер жорсткості литих станин верстатів від литтєвого пригару і окалини (акт впровадження № 6127 від 1.10.1996 р.; ДУЛП, НДЛ-39).

Особистий внесок здобувача. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень отримані здобувачем самостійно на базі власних ідей та опрацювань. Наукові праці [1,6,9,10,12,13,15,18-25,27-35,37,39,44] виконані автором одноосібно. У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора є наступним:

- у [4,11,14,17,36,41] – проведено аналіз досліджень динамічних процесів та введені нові динамічні закономірності, необхідні для побудови комплексу моделей: при взаємодії з поверхнею обробки одиничних робочих елементів інструментів; механізму контактної взаємодії; особливостей просторового переміщення елементів обробки; взаємодії контактуючих поверхонь з різними якісними показниками матеріалу, що впливають на зносостійкість елементів інструментів і поверхню обробки;

- у [38] – теоретично встановлено поширення теплових полів у багатошаровій поверхні металу;

- у [2,7,16,40,42,43] – розроблена методика та проведено аналіз статичних і динамічних випробовувань деталей вантажних вагонів на міцність, надійність, ефективність поверхневої обробки та тривалість експлуатації якісно сформованої поверхні;

- у [3,8] – запропоновані методики вибору ефективних режимів технологічних процесів ремонтних робіт.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та одержали позитивну оцінку на науково-технічних конференціях: Міжнародній конференції „Сучасні матеріали, технології, обладнання та інструмент в машинобудуванні” (Київ, 2000); 65-а Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, 2005); Національних конференціях „Високоєфективні технології в машинобудуванні” (Алушта, 1998), „Ресурсо- і енергозберігаючі технології у промисловості” (Одеса, 1998), „Композиційні матеріали у високоєфективних технологіях механоскладального виробництва” (Алушта, 1999) та „Лазерні і фізико-технічні методи обробки матеріалів” (Київ, 1999); LXVI Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, 2006); II науково-практичній міжнародній конференції „Впровадження наукоємних технологій на магістральному і промисловому залізничному транспорті” (Крим, Алушта, 2006); V Міжнародній науковій конференції „Проблеми економіки транспорту” (Дніпропетровськ, 2006 р.); 67 та 68 Міжнародних науково-практичних конференціях „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, 2007, 2008 та 2009 р.р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування» (Луцьк, 2009 р.); 10-ому Ювілейному Міжнародному науково-технічному семінарі «Сучасні проблеми виробництва і ремонту в промисловості та на транспорті» (Свялява, Закарпат. обл., 2010 р.); Міжнародна науково-технічна конференція ТК-2010 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів» (Луцьк, 2010 р.).

Дисертація у повному обсязі доповідалась та отримала схвалення в Українській державній академії залізничного транспорту (м. Харків) у 2007 р., Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна (м. Дніпропетровськ) у 2007, 2009 та 2010 роках.

Публікації. Результати дисертації представлені в 50 публікаціях, серед яких 1 наукова монографія, 1 навчальне видання, 44 статей в наукових фахових журналах та збірниках наукових праць (з них 28 одноосібних), 4 патентів України на винахід.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел з 320 найменувань і додатків. Дисертація викладена на 377 сторінках, з них 288 сторінки основного тексту, містить 108 рисунків, 15 таблиць і 96 стор. додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету та завдання, визначено об'єкт, предмет, наведено методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, подано відомості стосовно їх апробації.

У першому розділі проведено огляд і аналіз організації існуючих технологічних процесів проведення ремонтних робіт на вагоноремонтних підприємствах, які пов'язані із комплексом операцій по відновленню або приведенні до працездатного стану та ресурсу вантажних вагонів, їх великогабаритних конструкцій, вузлів та окремих деталей.

Загальний стан ремонтної бази вантажних вагонів та вимоги сьогодення ставлять важливу задачу здійснення науково обґрунтованого вдосконалення технологічних процесів ремонтних робіт, систематизації широкої номенклатури складових елементів даного засобу рухомого складу. Головними у питаннях підвищення безпеки та надійності перевезень вантажів залізницею є її ефективна експлуатація та збереження, згідно нормативних вимог, у робочому стані деталей, механізмів і конструкцій засобів рухомого складу. Результати статистичних показників вказують, що із 194 транспортних випадків, допущених у вагонному господарстві, наприклад, в 2007 році – 104 випадки, які перевищують 54 %, трапились із-за неякісного ремонту вагонів, а 84 з них - випадки з вини вагоноремонтних підприємств. За даними Укрзалізниці, в середньому щомісячно в текучий ремонт відчіплюється біля 4 тис. таких вагонів.

У процесі ремонтних робіт вантажних засобів залізничного транспорту серед широкої різноманітності методів поверхневого формо-змінення та якісного формування поверхні як окремих деталей, так і великогабаритних конструкцій, доволі складно вибрати найбільш оптимальний. Технологічні процеси підготовки деталей для їх ремонту, ремонтно-відновлювальними роботами та якісним формуванням поверхні перед нанесенням антикорозійного покриття повинні враховувати такі важливі фактори, як марка матеріалу та товщина поверхні обробки, геометрична конфігурація виробу та його габаритні розміри, характер поверхневого шару та товщину корозійного утворення, що підлягають видаленню, вимоги до степені зміцнення поверхні металу, тощо.

Широка номенклатура металевих конструкцій, вузлів і деталей вантажних засобів залізничного транспорту, що підлягають ремонту і поверхні, які необхідно покривати антикорозійним і декоративним матеріалом, змушує поряд з вдосконаленням існуючих технологічних процесів та їх обладнання, розробляти і впроваджувати на вагоноремонтних підприємствах нові, більш прогресивні та високоефективні методи ремонту.

Крім того, існуючі на даний час процеси очищення великогабаритних металевих конструкцій (кузовів вантажних залізничних вагонів, цистерн, коперів тощо) від старого лакофарбового покриття та підготовка цієї поверхні для нанесення нового, пов'язана із значними труднощами, викликаними відсутністю надійного та ефективного технологічного обладнання, інструменту. Поширені у практиці методи поверхневої обробки в більшості своїй ґрунтуються на методах підготовки металевих поверхонь за допомогою ручних інструментів, а механізовані методи поверхневої обробки у більшості випадків застосовуються для функціонування у виробничих (стаціонарних спорудах депо та ремонтних цехах) умовах і неприйнятливі для застосування у невиробничих (польових), що значно обмежує потенційні можливості їх застосування на практиці.

Аналіз стану проблеми на основі проведених досліджень і опублікованих праць, впровадження у виробництво як традиційних, так і

нових технологічних процесів, методів поверхневої обробки із використанням фізичних та фізико-хімічних закономірностей і властивостей, застосування нових видів інструментів вказали на те, що проблеми поверхневого очищення металу від корозійного шару, формо-змінення та якісного формування поверхні з врахуванням поставлених вимог до її стану і точності виготовлення останнім часом стали актуальними проблемами технології ремонтних робіт, основні з яких є:

- безперервне підвищення вимог до надійності, якості та довговічності в експлуатації деталей і конструкцій засобів рухомого складу;

- зростання номенклатури і різновидності великогабаритних конструкцій, що характерні деталями складної геометричної форми та профілю;

- необхідність скорочення працевітності та тривалості ремонту, реставраційних робіт при обробленні великих та складних деталей вантажних вагонів за умови першочергового забезпечення необхідних якісних характеристик поверхні матеріалу;

- підвищені вимоги до впровадження у виробництво екологічно чистих технологій.

У проведених дослідженнях встановлено ряд закономірностей впливу технологічних факторів процесу поверхневої обробки комбінованим інструментом з гнучкими і жорсткими робочими елементами на зміцнення поверхні матеріалу та величин внутрішніх залишкових напружень, виявлена закономірність технологічної спадковості та його вплив на експлуатаційні характеристики виробів, оскільки більшість авторів, досліджуючи і розробляючи технологічні процеси поверхневої обробки, акцентують увагу лише на окремих показниках якості (ступінь видалення з поверхні корозійних нашарувань; шорсткість поверхні; довговічність експлуатації інструменту, тощо) і не проводять узагальнення всього процесу в комплексі. Крім того, слід відмітити, що аналіз результатів відомих дослідників вказав на ряд протиріч у питаннях впливу окремих технологічних факторів на якість поверхневого шару, таких як мікротвердість, структура, залишкові напруження і мікрогеометрія (відхилення від точності форми), тощо.

Практично цілком відсутні наукові праці з питань дослідження процесу поверхневої обробки із задіянням впливу високої миттєвої температури і її наслідки на механізм утворення внутрішніх залишкових напружень та деформацій за умови застосування комбінованих методів обробки композитних поверхонь з різними фізико-механічними властивостями кожного із шарів.

Аналіз проведених досліджень, їх результати і рівень практичного впровадження у вагоноремонтному виробництві вказує на актуальність питання очистки та якісного формування деталей та вузлів конструкцій вагонів.

У другому розділі розроблені оптимальні маршрути технологічних процесів на виробничих ремонтно-відновлювальних комплексах, в основу яких покладено, що виробничий процес ремонту вантажних вагонів полягає у початковій підготовці засобів транспорту до ремонтно-відновлювальних робіт, технічній діагностиці їх стану, реалізації технологічних процесів відновлення працездатності або ресурсу вагонів, виборі засобів технічного оснащення для контролю стану складових частин вагону та проведення

ремонтних робіт.

Схематично технологічний маршрут організації оптимального процесу ремонтних робіт відображений на рис. 1.

За схемою видно, що основою розробки оптимального технологічного процесу є детально розроблена єдина класифікація фрагментів (конструкцій, вузлів і деталей) залізничних вагонів, як елементарних складових виробу в цілому. Така класифікація дозволяє, узагальнивши характерні особливості кожної окремо взятої деталі, згрупувати їх і розробити для кожної із груп комплексні типові (узагальнені) деталі, об'єднані рядом спільних споріднених характеристик. Оптимальність маршруту організації ремонтно-відновлювальних робіт кожної окремо взятої комплексної деталі залежить від ступені її руйнування та місця розташування об'єкту пошкодження. Грунтуючись на цих двох домінуючих складових – класифікації конструкцій, вузлів і деталей залізничних вагонів та ступені їх руйнування, можна розробити оптимальний типовий технологічний процес ремонтних робіт і вже згідно нього приймати необхідне технологічне обладнання, інструмент і



Рис. 1. Схема маршруту технологічного процесу ремонтних робіт вантажних вагонів.

режими механічної обробки, складання, обґрунтованих економічними показниками.

Підготовка до ремонту поверхні кожної окремо взятої деталі або конструкції вагону зв'язана у першу чергу з процесом їх очистки, тобто видалення шкідливих або небажаних нашарувань (забруднень), різних за своєю природою та властивостями. Крім того, цей процес пов'язаний із

підготовкою поверхні кузовів вагонів і його окремих вузлів до повторного покриття захисними антикорозійними і лакофарбовими матеріалами.

Розроблені і досліджені процеси поверхневої обробки, призначені для видалення з поверхні деталей і великогабаритних конструкцій засобів транспорту відкладень атмосферного і технологічного бруду, залишків старої фарби, утворених корозійних нашарувань та якісного формування поверхневого шару основного металу для наступного нанесення на нього нового лакофарбового антикорозійного покриття.

Запропоновані методи поверхневої обробки, пристрої та інструменти дозволяють здійснювати очищення не лише вантажних засобів залізничного транспорту, а й видаляти утворені атмосферні кислотно-солеві та органічних осадки з поверхні великогабаритних металевих конструкцій (металеві конструкції залізничних мостів; опори ліній електропередач; ферми перекриття вокзальних перонів і естакад ремонтних дільниць депо; вагони метрополітену, міського авто- і електротранспорту; ажурних металевих конструкцій ангарів тощо), так і оброблення незначних за розмірами деталей на етапі викінчувального технологічного процесу з метою підготовки поверхні для нанесення антикорозійного покриття. Крім того, даним методом передбачено очищення поверхонь виливок та поковок від литтєвого та ковальського пригару і товстого шару окалини, обробка зварних швів кузовів вагонів, котлів залізничних цистерн тощо. Розроблені методи обробки, крім очистки поверхні, дозволяють здійснювати якісне формування поверхні виробів - зміцнення поверхневого шару металу і досягнення в ньому рівня залишкових напружень стиску, необхідних для компенсації залишкових напружень розтягу, які виникають внаслідок зварювально-монтажних робіт або механічної обробки.

У третьому розділі розглядаються характеристики якості виробів, як сукупність властивостей, які обумовлюють їх здатність задовольняти певні вимоги у відповідності до призначення даної продукції. Якість поверхневих та приповерхневих шарів матеріалу чинить значний вплив на експлуатаційні властивості виробів. Основні параметри якості поверхні виявляють найбільший вплив на технічні характеристики виробів і тому вимагають глибокого дослідження, оскільки технологічне забезпечення цих властивостей для деталей, вузлів та великогабаритних конструкцій вантажних залізничних вагонів пов'язано із забезпеченням необхідних параметрів стану поверхні виробів, їх ефективності, надійності та безпеки у складних умовах процесу тривалої експлуатації. Для успішного вирішення цієї задачі необхідно дослідити теоретичні аспекти взаємозв'язку стану поверхневого шару матеріалів виробів з умовами його оброблення. Доцільно розглядати не загальні аспекти зв'язку окремих параметрів стану поверхні з умовами їх обробки, а конкретний взаємозв'язку системи якісних параметрів поверхні металу, які є домінуючими в експлуатаційних характеристиках, з умовами його практичного формування. Такий взаємозв'язок дозволяє розробити основну математичну модель механізму якісного формування поверхні виробів, яка в свою чергу є основою в розробці алгоритму формування технологічного процесу ремонту складових елементів засобів транспорту методом очисно-зміцнюючої обробки.

Математична модель пластичної деформації полягає в тому, що при поверхневій очистці та ремонтно-відновлювальних роботах великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізничного транспорту, їх якісні характеристики формуються, як один із методів якісного формування поверхні виробів, де враховуються пластичні властивості металу, його здатність при певних умовах деформуватися під впливом навантажень, не втрачаючи цілісності виробів. Під впливом тиску змінюється не лише форма та розміри елементів вагонів, але й структура та механічні властивості металу.

Математично обґрунтований механізм якісного формування поверхні деталей методами пружно-пластичного деформування дозволяє у процесі проведення ремонтно-відновлювальних робіт методом очисно-зміцнюючої обробки сумішувати експлуатаційні вимоги до виробів з технологічними режимами їх обробки.

Розроблена і досліджена модель взаємодії одиничного пружного робочого елемента з поверхнею контактування, його вплив на матеріал поверхневого шару та розподілення динамічних зусиль, що дозволяє встановити механізм формозмінення поверхні внаслідок її пружно-пластичного деформування, оскільки для об'єктивного встановлення факторів, що впливають на якісне формування поверхні основного металу виробу, необхідне дослідження особливостей контактування одиничного елемента секцій очищення з поверхнею, оскільки згідно процесу термомеханічної обробки (ТМО) саме між робочими поверхнями гнучких робочих елементів (ГРЕ) даних секцій і поверхнею виробу заздалегідь призначається величина натягу, створюючи тим самим у процесі оброблення певне зусилля взаємодії. Крім того, у процесі контактування ГРЕ, крім мікрорізання робочими поверхнями, здійснюється і процес згладжування внаслідок контактування своїми неробочими бічними циліндричними поверхнями.

Робочий елемент секцій очищення у процесі контактування з поверхнею обробки зазнає значних пружних деформацій, величині яких властива довжина вільного вильоту консольно закріпленого стержня, і які підпорядковані лінійній теорії згину. Процес контактної взаємодії розглядається згідно положень теорії гнучких пружних стержнів, а особливо положення, що відноситься до випадку плоского згину консольно закріпленого стержня. Аналіз взаємодії одиничного ГРЕ ґрунтується на принципі поверхневого руху, згідно якого елемент є нерухомим, а обертання навколо точки центра здійснює поверхня виробу.

Розв'язування задачі контактної взаємодії одиничного ГРЕ з площиною обробки проводиться у два етапи, де на першому етапі рішаємо диференційне рівняння плоского згину консольно закріпленого пружного стержня під впливом прикладеного зосередженого навантаження за умови постійності довжини вільного вильоту та жорсткості стержня по всій його довжині. На другому етапі розрахунку застосовується умова неперервності контакту ГРЕ з площиною. З розв'язку задачі, що пристосована до реальних умов з врахуванням змін величини і напрямку дії зосередженої сили, визначається характеристика даного процесу.

Величина результуючого зосередженого зусилля P від впливу на поверхню обробки одиничного гнучкого елемента встановлюється за

формулою:

$$P = \frac{EJ}{x_1^2} k = \frac{2(1,0266 - \sin \alpha_0)}{x_1^2} \left(\frac{\Theta^2}{1 - \Theta^2} \right) \cdot EJ. \quad (1)$$

де E , J – модуль пружності та осьовий момент прямокутного перерізу одиничного ГРЕ; α_0 – кут, утворений дотичною до зігнутої осі ГРЕ та площиною обробки; x_1 – координата точки защемлення пружного стержня у

прийнятій системі координат; $k = \frac{Px_1^2}{EJ}$ та $\Theta = \sqrt{\frac{k}{m_1 + k}}$, де $m_1 = 2(1,0266 - \sin \alpha_0)$.

Моделювання процесу динамічного впливу на поверхню обробки комплексно сформованих контактуючих робочих елементів дозволяє теоретично встановлювати величину і характер формозмінення та якісного формування поверхні матеріалу в залежності від впливу форми і геометричних характеристик робочих елементів у процесі пружно-пластичного деформування поверхні. Крім того, дана модель передбачає здійснення процесу очистки, тобто видалення з поверхні виробу зайвих відкладень, і якісного формування поверхні матеріалу пов'язаний з деформуючим зусиллям P_{max} , яке сприяє контактному проникненню робочого торця робочого елемента в поверхню обробки. Степінь проникнення – глибина динамічно утвореної лунки (h_l), залежить від контактної жорсткості матеріалу елемента (j_m) і здатності поверхневих шарів створювати опір прикладеному зусиллю деформації - $P_{max} = h_l \cdot j_m$.

Утворення на поверхні лунки викликане виникненням пластичних і пружних деформацій матеріалу обробки і пружних для ГРЕ. Глибина проникання у поверхню визначається згідно наступного виразу:

$$h_l = h_{nl} + h_{np} = h_{nl} + (h'_{np} + h''_{np}), \quad (2)$$

де h_{nl} – контактне переміщення внаслідок пластичного деформування; h_{np} – переміщення від пружного деформування, яке складається із пружного переміщення матеріалів поверхні обробки (h'_{np}) і дротинки (h''_{np}).

Розрахунок величини h_{nl} – переміщення в матеріалі обробки торця одиничного ГРЕ внаслідок пластичного деформування металу:

$$h_{nl} = \frac{H_\mu \cdot r}{2E_1 \cdot d_{op} \cdot \sqrt{R_{np}}} \left[1 + \frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{d_{op}^2}{8r^2} \right) \text{ArcSin} \left(\frac{2r}{d_{op}} \right) - \frac{d_{op}}{4r} \sqrt{1 - \frac{4r^2}{d_{op}^2}} \right]. \quad (3)$$

де H_μ – мікротвердість матеріалу поверхні обробки; R_{np} , d_{op} – приведений радіус кривизни та діаметр одиничного ГРЕ.

Під впливом діючого зусилля P_{max} відбувається пружне переміщення h_{np} зони пластичних деформацій в основний метал, величина якого для відбитку на поверхні сліду у формі еліпсної площинки контакту

$$h_{np} = 4 \frac{1 - \mu^2}{\pi \cdot E} k(\varepsilon) \cdot a \cdot b \cdot \sigma_T, \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; $k(\varepsilon)$ – еліптичний інтеграл першого роду; a , b – відповідно мала та велика півосі еліпса сліду; ε – ексцентриситет еліпсної площинки контакту ($\varepsilon = \sqrt{1 - R_{np}}$); σ_T – границя текучості матеріалу.

Величина максимального зусилля контактної взаємодії у процесі очисної та очисно-зміцнюючої обробки поверхні металу інструментом з гнучкими робочими елементами виражається формулою:

$$P = \frac{\pi \cdot d_{op}^2 \cdot E_2}{4l} \cdot \left\{ \frac{2}{\pi} k(\varepsilon) \rho \cdot d_{op}^2 \cdot \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} \sigma'_T + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \sigma''_T \right) + \frac{H \cdot r}{2E_1 \cdot d_{op} \cdot \sqrt{R_{np}}} \left[1 + \frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{d_{op}^2}{8r^2} \right) \text{ArcSin} \frac{2r}{d_{op}} - \frac{d_{op}}{4r} \cdot \sqrt{1 - \frac{4r^2}{d_{op}^2}} \right] \right\}, \quad (5)$$

Аналітичне визначення згідно формули (5) величини силового впливу елементів інструменту на поверхню обробки дає можливість розробляти оптимальні конструкції інструментів та технологічного обладнання у плані збереження метало- та енерговитрат.

Розроблена теоретична модель теплового впливу на поверхню обробки у процесі динамічної взаємодії робочих елементів інструментів, що здійснюють очистку та формозмінення поверхні виробів. Виведене рівняння, яке є справедливим для розрахунку температури поверхні у будь-якій її точці по товщині матеріалу та у будь-який момент часу в нерухомій системі координат при умові, коли теплове джерело повністю проходить над даною точкою поверхні обробки

$$T = \frac{q \cdot b \cdot \mu}{\lambda} \left\{ \zeta \left[\Phi \left(\frac{\zeta \sqrt{v}}{\sqrt{\xi - \eta}} \right) - \Phi \left(\frac{\zeta \sqrt{v}}{\sqrt{\xi - \eta - 1}} \right) \right] + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot v}} \left(\sqrt{\xi - \eta} \cdot e^{-\frac{\zeta^2 \cdot v}{\xi - \eta}} - \sqrt{\xi - \eta - 1} \cdot e^{-\frac{\zeta^2 \cdot v}{\xi - \eta - 1}} \right) \right\} \quad (6)$$

де $\xi = \frac{V_i \cdot t}{b}$; $\eta = \frac{x}{b}$; $v = \frac{V_i \cdot b}{4a}$; $\zeta = \frac{Z}{b}$; q – інтенсивність плоского миттєвого теплового джерела; a , λ – температуропровідність та коефіцієнт теплопровідності матеріалу обробки; V_i , t – швидкість та час переміщення теплового джерела; Φ – інтеграл ймовірності (функція Крампа); $b = 2\alpha / (c\rho Z)$, де Z – глибина залягання точки виміру температури; α – коефіцієнт тепловіддачі; $c\rho$ – об'ємна теплоємність матеріалу.

Наведене рівняння (6) розрахунку поширення температурних полів може застосовуватись для теоретичного прогнозування формування якісних характеристик як у процесах обробки деталей, виготовлених із тонкого (до 3,0 мм) металу, так і при необхідності здійснити лише очистку поверхні виробу від атмосферного та технічного бруду, старої фарби, тонкого шару іржі, тощо. Насамперед це відноситься до технологічних процесів ремонтних робіт кузовів пасажирських і вантажних вагонів, залізничних цистерн.

Експериментальні дослідження змін поширення теплових полів у процесі динамічної взаємодії робочих елементів інструментів із поверхнею обробки, заміри температури по товщині металу та аналіз отриманих осцилограм виявили, що домінуючими факторами, які суттєво впливають на нагрівання поверхні металу є швидкість обертання інструменту (V_{ω}), його подача (S), натяг ГРЕ по відношенню до поверхні обробки (H_H) та діаметр одиничного ГРЕ (d_{op}).

Дослідження виявили, що при сталій швидкості ($V_{\omega} = const$) і подачі інструменту $S_1 = 1,33 \cdot 10^{-2}$ м/с температура зростає майже у двічі ніж при

подачі $S_2 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$. Тобто, спостерігається явище, коли із збільшенням подачі інструменту зростає температура нагрівання металу, але зменшується зона її поширення по товщині поверхневого шару. Такий ефект нагрівання поверхні пояснюється впливом на неї окремих теплових імпульсів, що є характерним для процесу обробки інструментом, виготовленим шляхом його набору з багатьох одиничних робочих елементів, із наступною множиною накладання утворених імпульсів.

Розроблена математична модель впливу на поверхню металу рухомого концентрованого теплового джерела викликаного високотемпературним електродуговим розрядом в процесі термомеханічної обробки, яка сприяє формуванню необхідних якісних параметрів поверхні деталі. Обертання інструменту з достатньо високою швидкістю за умови горизонтального переміщення виробу (або інструменту) в напрямі подачі з певною швидкістю дозволяє повністю покрити поверхню обробки хаотично розташованими слідами-лунками, що утворені як наслідок впливу дискретних електророзрядів.

Температурне поле, що поширюється в матеріалі деталі та утворене внаслідок дії концентрованого теплового джерела від одиничного ГРЕ (рис.2), впливає відповідно на поширення температурного поля сусіднього дугового розряду, формуючи в цілому поширення теплового поля всією товщиною поверхні виробу. Вважаючи, що кожне одиничне електродугове температурне джерело виділяє абсолютно однакову теплову потужність, приймається для розгляду механізму поширення теплоти модель процесу впливу сукупних теплових джерел на тришарову поверхню, що складається і

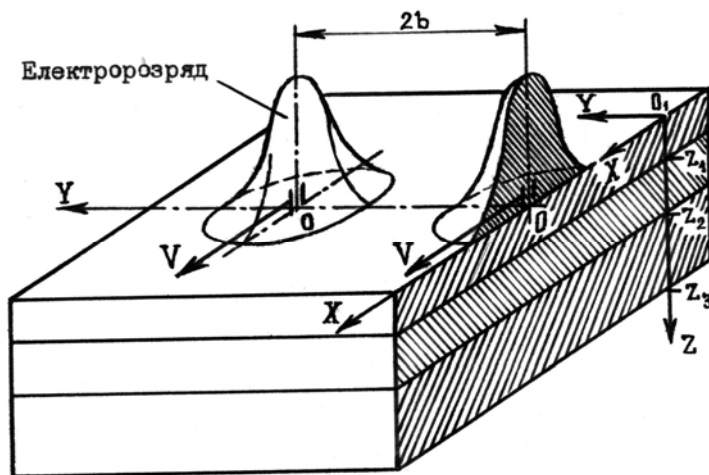


Рис.2. Схема впливу рухомого концентрованого теплового джерела на багатошарову поверхню металу.

із послідовно розташованими прошарками іржі, прокатної окалини та основного металу виробу (рис.3).

Розподіл густини теплового потоку одиничного теплового джерела підпорядковується нормальному круговому закону. Окреме теплове джерело переміщується з швидкістю $V_{щ}$ поверхнею, за умови що $Z=0$ (рис.2), нерухомої системи координат XYZ у позитивному напрямі стосовно осі O_1X . Рівняння, що описує закон розподілу $q_1(X, Y) = q_0 \exp[-k_0(X^2 + Y^2)]$.

Виходячи з умови переміщення теплового джерела $q_1(X, Y)$ із сталою швидкістю, рівняння розподілу густини теплового потоку за умови врахування змінної $X' = (X - V_{щ}t)$, отримуватиме наступний вигляд

$$q(x,y,z) = q_0 \exp [-k_0(X - V_{uy}t)^2] \exp [-k_0Y^2], \quad (7)$$

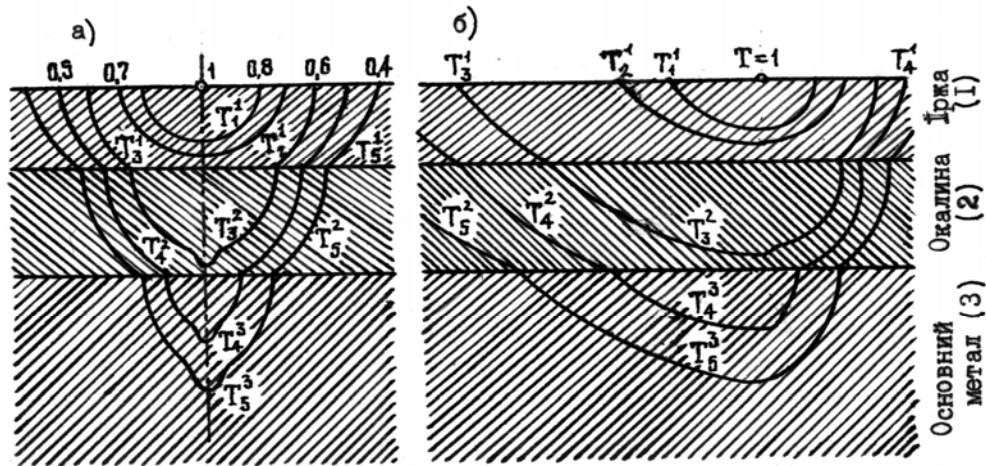


Рис. 3. Приріст температури при переміщенні поверхні обробки: а) ізотерми теплового поля в площині XOZ; б) ізотерми теплового поля в площині YOZ.

де q_0 - густина розподілу тепловиділення у центрі плями нагрівання; k_0 - коефіцієнт ущільнення теплового потоку; X ; Y - відповідні координати точки, які необхідні для встановлення радіальної відстані r від даної точки в зоні дії теплового джерела до його осі симетрії ($r = \sqrt{X^2 + Y^2}$); X' - абсциса певної точки в рухомій системі координат.

Для кожного з нагромаджених поверхневих шарів корозії та основного металу виробу одержане загальне рішення крайової задачі математичної моделі впливу рухомого концентрованого теплового джерела у формі

$$T_j(X, Y, Z, t) = u_j(x, y, z, t) + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2}{b} \text{Cos}\left(\frac{\pi \cdot n}{b} Y\right) \cdot \frac{\text{Cos}(\gamma_{3m} \cdot Z - \omega_j)}{\Delta_{3mj}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot a_j \cdot t}} \times$$

$$\times \exp\left[-a_j \left(\frac{\pi \cdot n}{b}\right)^2 t\right] \cdot \exp(-a_j \cdot \gamma_{3m}^2 \cdot t) \cdot \int_0^b \int_{Z_{j-1}}^{Z_j} \int_{-\infty}^{+\infty} [-u_j(\xi, Y, Z) \cdot \text{Cos}\left(\frac{\pi \cdot n}{b} Y\right) \times$$

$$\times \text{Cos}(\gamma_{3m} \cdot Z - \omega_j) \cdot \exp\left[-\frac{(\xi - X)^2}{4a_j \cdot t}\right] d\xi \cdot dY dZ + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \int_0^{+\infty} \left(\frac{2a_j}{\pi \cdot \Delta_{3mj} \cdot b}\right) \cdot \text{Cos}\left(\frac{\pi \cdot n}{b} Y\right) \times$$

$$\times \text{Cos}(\gamma_{3m} \cdot Z - \omega_j) dk \cdot \int_0^b \int_{Z_{j-1}}^{Z_j} \int_{-\infty}^{+\infty} [4k_0^2 \cdot [1 + (X - V_{uy} \cdot t)] - 2k_0 \left[1 + \frac{V_{uy}}{a_j} (X - V_{uy} \cdot t)\right]] \cdot u_j(x, y, z, t) \times$$

$$\times \text{Cos}[k \cdot (\xi - X)] \cdot \text{Cos}\left(\frac{\pi \cdot n}{b} Y\right) \cdot \text{Cos}(\gamma_{3m} \cdot Z - \omega_j) \cdot \exp[-a_j \cdot \gamma_k^2 \cdot (t - \tau)] d\xi \cdot dY dZ d\tau. \quad (8)$$

Одержана математична залежність дає змогу встановити значення температури нагрівання корозійного нашарування (іржа, прокатна окалина) та поверхні основного металу виробу у будь-якій точці перерізу за умови переміщення джерела теплоти відносно поверхні оброблення. Для прикладу,

на рис. 3 наведені ізотерми розподілу температури відносно довільно прийнятої точки з відповідними координатами її розташування.

У четвертому розділі проводиться аналіз і синтез системи структурної та параметричної оптимізації технології очисно-зміцнюючих процесів ремонту деталей вантажних вагонів. Розглядається комплексний підхід до оптимізації технологічного процесу з можливістю проектування і оптимізації даного процесу не лише із врахуванням суто технічних вимог, але й з врахуванням його мало суттєвих вимог до якісних характеристик поверхні елементів, які підлягають обробці.

Аналіз розроблених технологічних маршрутів і окремого взятих технологічних процесів підготовки до ремонту та безпосередній ремонт деталей і великогабаритних конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту дозволив в якості ключових показників оптимізації процесу прийняти:

- ефективний технологічний процес ремонту виробів;
- енергоємність технологічного процесу;
- показник екологічної безпеки ремонтних робіт.

Прийняті показники оптимізації виражені та максималізовані числовим еквівалентом і у загальному вигляді представлені як об'ємна схема (рис.4).

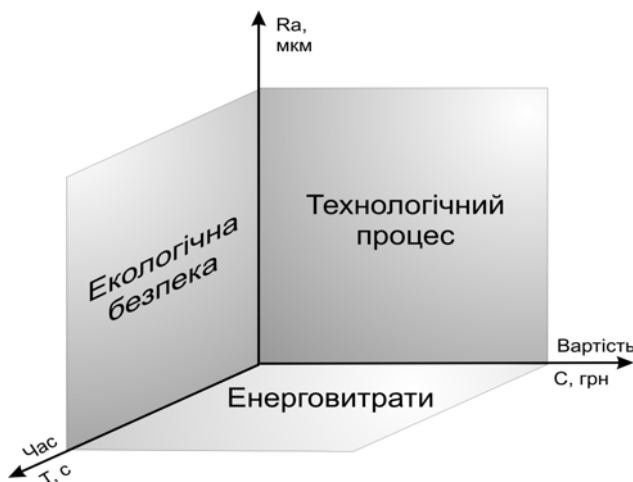


Рис.4. Схема показників оптимізації методів обробки.

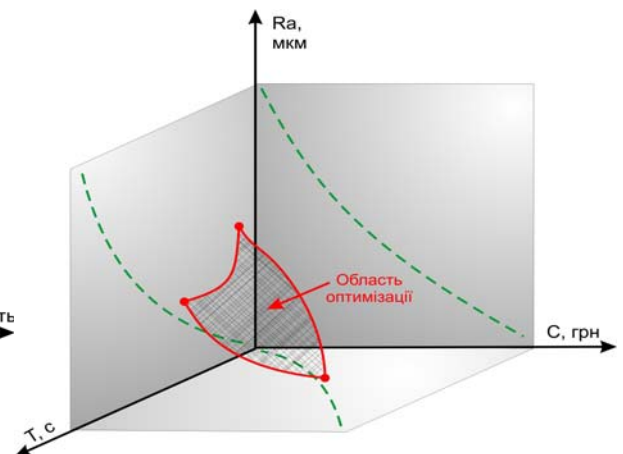


Рис.5. Схема вибору оптимального процесу обробки поверхні.

Для ефективного технологічного процесу - показниками якості поверхні відновлених виробів (показник шорсткості поверхні R_a), фінансовими витратами та терміном їх отримання; для енергоємності технологічного процесу – час експлуатації технологічного обладнання певної потужності для отримання необхідних якісних показників (R_a) та вартість енерговитрат (C); для екологічної безпеки – кількістю видаленого з поверхні накопичення (шламу), вираженого через показник (R_a), тривалістю його очистки (T) та вартістю (C) проведених робіт.

Методом візуалізації множини можливих векторів отримана просторова система, де в області багатомірної множини Парето, як незалежно отриманих векторів, так і точки їх перетину у просторі дозволяє візуально оптимізувати, реально оцінити та прийняти найкращий варіант технологічного процесу ремонтних робіт (рис.5).

У п'ятому розділі розглядається методика і програмне забезпечення, призначені у першу чергу для відтворення та автоматизації етапу підготовки та проведення на вагоноремонтному виробництві технологічних процесів ремонтних робіт, оснований на формозмінні та якісному формуванні поверхні методом очисно-зміцнюючої обробки великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізничного транспорту. Програмне забезпечення виконано на алгоритмічній мові Бейсик і виконується в операційному середовищі *Win32* (операційні системи *Windows 9x*, *Windows NT*) у діалоговому режимі.

Забезпечення необхідних якісних характеристик поверхневого шару матеріалу елементів вагонів, отриманих внаслідок термомеханічної обробки, здійснюється комплексним методом, основаному на послідовності: технологічне забезпечення якості обробки на основі математичного моделювання процесу формування параметрів стану поверхні; оптимізація елементів конструкції інструментів та технологічних режимів; комп'ютерно-програмне забезпечення для обробки інформації засобами ЕОТ та передача результатів для впровадження у виробничі підрозділи вагоноремонтного підприємства.

Розроблені методики комп'ютерно-програмного забезпечення ґрунтуються на основні впливових факторів процесів ТМО, їх вплив на формування поверхневого шару як кожного з основних факторів (теплого і динамічного) зокрема так і в їх комплексній взаємодії, враховувались загальні фактори: швидкість обертання інструменту (V_{ω}), натяг елементів (H), загальна кількість секцій (Z) і окремо струмопровідних ($Z_{e/c}$). До цієї групи факторів слід віднести і один з конструктивних параметрів інструменту - ширину робочої поверхні (B), адже кількість одночасно контактуючих ГРЕ впливає на густину струму (j), яка пов'язана з силою електроструму (I) і, відповідно, із температурою стовпа електродуги в зоні її плями.

У розділі наведені розроблені методики комп'ютерно-програмного прогнозування оптимальних показників шорсткості поверхні у процесі ТМО, ступінь зміцнення поверхні елементів вагону із врахуванням всіх характерних особливостей матеріалу обробки, рівень формування внутрішніх залишкових напружень та зміни температурних характеристик матеріалу елементів вагонів. Крім того, представлена розроблена комп'ютерна програма алгоритму вибору оптимальних параметрів інструментів для поверхневої очисно-зміцнюючої обробки великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізниці із врахуванням геометричних особливостей поверхні обробки, матеріалу та характеру поверхневого корозійного утворення.

У шостому розділі розглядаються методики проектування технологічних процесів очисно-зміцнюючої обробки великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізниці із застосуванням механічних і термомеханічних методів контактної взаємодії робочих елементів інструментів з поверхнею виробів.

Технологічні процеси поверхневої очистки призначені як для першочергової підготовки об'єктів до технічного діагностування та ремонту і пов'язані із видаленням різних забруднень у вигляді масла, жиру, бруду технологічного, атмосферного і випадкового походження, окисли, гідроокиси, карбонати тощо, а також плівки і шари попередніх

антикорозійних покриттів, так і наступним етапом обробки з видалення корозійного нашарування і якісного формування поверхні металу, які забезпечать необхідні експлуатаційні характеристики виробів та надійне зчеплення з новим антикорозійним покриттям. Особливості методів поверхневої очистки та якісного формування поверхні деталей комбінованим інструментом з ГРЕ полягає у суміщенні миттевого високотемпературного враження швидкоплинним тепловим джерелом з концентрованим динамічним контактним впливом індентора, здійснює очистку і якісне формування поверхневого шару матеріалу виробу.

Видалення масложирового бруду. Методика проектування технологічних процесів видалення з поверхні металу плівки масложирового бруду ґрунтується на визначенні зусилля її зсуву P_τ , яке залежить від динамічного коефіцієнту в'язкості η мастила, напруження його зсуву τ_{zc} та площі контактуючої поверхні $F_{км}$ робочих елементів інструменту. Враховуючи, що напруження зсуву τ_{zc} пропорційне градієнту швидкості G і динамічному коефіцієнту в'язкості η , визначаємо мінімальну швидкість V_{min} , при якій починається відокремлення масложирової плівки від поверхні металу

$$V = \frac{P_\tau \cdot l}{F_{км} \cdot \eta}, \quad (9)$$

де l - довжини дуги контакту робочих елементів інструменту.

Розроблена математична модель процесу дозволяє встановлювати залежності оптимальних технологічних режимів видалення з поверхні виробів нафтожирового бруду і параметрів робочих інструментів. Встановлено, що масложирова плівка з кінематичною в'язкістю $\nu = (0,9...1,5) \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$ відокремлюється від поверхні зусиллям $P_\tau = (0,8...4,3) \cdot 10^3 \text{ Н}$, а при кінематичній в'язкості $\nu = (1,1...3,75) \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$ - $P_\tau = (1,35...7,5) \cdot 10^3 \text{ Н}$. Згідно наведеної методики проектуються технологічні процеси видалення з поверхонь великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей засобів вантажного залізничного транспорту старого антикорозійного покриття, після чого вироби стають придатними для технічного діагностування та ремонту, оскільки їх поверхні отримують характерний металевий блиск або вказують на місця можливого корозійного руйнування.

Очищення поверхні від корозійного утворення. Розроблені методи очистки поверхні деталей від корозії полягають (в залежності від характеру та товщини корозійного відкладення) у можливості здійснювати видалення іржі та окалини механічно, термомеханічно (застосування теплових властивостей електродуги) та у комплексному суміщенні миттевого високотемпературного враження швидкоплинним тепловим джерелом із концентрованим динамічним контактним впливом інденторів.

Процес механічного очищення поверхні виробу розглядається на основі руйнування монолітності та видалення прокатної окалини, динамічна твердість якої (HB_D) визначається, використовуючи відношення HB до HB_D

$$HB_D = 0,5 \left(1 - \frac{137}{HB} V_{но} + \sqrt{1 + \frac{2250}{HB} V_{но}} \right)^{0,89}, \quad (10)$$

де V_{nd} - початкова нормальна доударна швидкість одиничного індентора; HB - твердість матеріалу за Бринелем.

Враховуючи існуючий для різних матеріалів взаємозв'язок між межею міцності σ_B та твердістю HB , а також, що пружні властивості матеріалів за умови їх навантаження з швидкістю меншою за 8 м/с залишаються незмінними, то взаємозв'язок між межею міцності на розтяг в статичних та динамічних умовах - $\sigma_{ВД} = f(\sigma_B)$ є аналогічним взаємозв'язку між HB та HB_D , звідки отримано:

$$\sigma_{ВД} = \frac{\sigma_B}{2} \left(1 - \frac{137}{HB} V_{nd} + \sqrt{1 + \frac{2250}{HB} V_{nd}} \right)^{0,89}, \quad (11)$$

Згідно залежності (5) значення максимального зусилля контактної взаємодії P_{max} , а також попередньо визначивши розміри півосей контуру залишеного на поверхні сліду, визначається середнє контактне напруження на межі основного металу з індентором, в якості якого приймаються елементарні гнучкий і жорсткий елементи інструменту:

$$\sigma'_d = \frac{P_{max}}{\pi \cdot a \cdot b}, \quad (12)$$

де σ'_d - величина середнього контактного напруження.

Наведена розрахункова модель руйнування шару прокатної окалини при роботі інструменту в режимі лише механічного контактування одержала підтвердження за результатами експериментальних досліджень, проведених на зразках з різних матеріалів (сталей марок 20, 45 і 40Х та чавуну СЧ18) із товщиною окалини в межах 0,4...1,6 мм. Внаслідок обробки поверхня зразків цілком очищувалась від даного корозійного нашарування, отримуючи в кінцевому результаті характерний металевий блиск.

Методика технологічних процесів руйнування та видалення корозійних утворень із застосуванням теплових властивостей електродуги базується головним чином на температурній дії електричного струму, що підводиться безпосередньо до поверхні оброблення з метою надання їй заданої технологічними умовами форми та розмірів, структури матеріалу та необхідних якісних характеристик поверхні виробів, здійснюючи одночасно видалення корозії. Методика технологічних процесів руйнування корозії комплексно здійснює суміщення миттєвого високотемпературного враження швидкоплинним тепловим джерелом із концентрованим контактним впливом інденторів, що по суті об'єднує статичний і динамічний способи поверхневої обробки.

Методики проектування технологічних процесів очисно-зміцнюючої обробки великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізниці поєднують в собі як процеси видалення масложирового бруду та корозії, так і якісне формування поверхні виробів, що характеризується шорсткістю поверхні, її зміцненням, формуванням внутрішніх залишкових напружень та структурними змінами у матеріалі.

Формування шорсткості поверхні матеріалу виробів. Дослідження показали, що формуванням геометричних показників якості поверхні матеріалу у процесі термомеханічної обробки деталей та великогабаритних конструкцій вантажних вагонів відбувається за рахунок наступних факторів:

геометрії робочої поверхні контактуючого елемента та кінематики його переміщення; динаміки мікроформозмінення поверхневого шару всією сукупністю робочих поверхонь (пучка гнучких робочих елементів або індентора, як жорсткого робочого елемента) із врахуванням пружних і пластичних деформацій поверхні матеріалу обробки; шорсткості контактуючих поверхонь робочих елементів; теплового впливу електродугового розряду.

Висота геометрії робочої поверхні основного металу виробу, що підлягає процесу ТМО, формується у вигляді суми ряду складових

$$R_Z = h_1 - (h_2 + h_3 + h_4 + h_5), \quad (13)$$

де $h_1; h_2; h_3; h_4; h_5$ - складові утворення мікропрофілю, обумовлені, відповідно, температурним впливом електродуги, кінематики переміщень робочих поверхонь, деформаціями поверхні матеріалу обробки, вихідною шорсткістю контактуючої поверхні робочого елемента та її коливання відносно поверхні обробки.

Складова h_1 , утворена у вигляді воронки, яка виникає в результаті плавлення та часткового випаровування деякого об'єму матеріалу корозійного утворення та основного металу деталі, і залежить від густини та кількості енергії стовпа електродуги, що впливає на дану поверхню. Визначається дана складова згідно залежності (14), де ε - ексцентриситет еліпсоїда утвореної на поверхні лунки та n_1 - кількість лунок, що послідовно розташовані у напрямі переміщення поверхні за одного оберту інструменту:

$$h_1 = \sqrt[4]{\frac{1}{\pi^2 G \left(1 + \frac{1 - \varepsilon^2}{\varepsilon} \operatorname{arth} \varepsilon\right)^2}} \int_0^{t'} j^2 dt \cdot \left(\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{2}\right) \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{n_1}}, \quad (14)$$

де $\int_0^{t'} j^2 dt = \frac{\lambda_{nl} \cdot \delta}{0,24 \rho_0 (1 + \alpha \cdot T_{nl})}$, із складовими t' - час, протягом якого відбулось нагрівання поверхні металу до температури його плавлення T_{nl} та визначається питомим опором матеріалу струмопровідного електрода ρ_0 ; α - термічний коефіцієнт змін опору матеріалу; j - густина електроструму.

Складова висоти профілю шорсткості h_2 визначається кінематикою переміщення робочих елементів інструменту відносно поверхні обробки та особливістю теплового враження струмопровідними секціями інструменту

$$h_2 = \frac{S^2}{8R_{np}}, \quad (15)$$

де R_{np} - приведений радіус кривизни одиничного елемента, значення якого визначається відношенням $R_{np} = (R_l / d_{op})^{0,5}$, де R_l - радіус затуплення робочої поверхні одиничного щіткового елемента; S - подача інструменту.

Складова h_3 виникає внаслідок динамічної дії робочих елементів секцій очищення на поверхню після температурного впливу електророзряду

$$h_3 = R_{z_0} \left[1 - 1,25 \left(\frac{P_N}{b \cdot c \cdot \sigma_T \cdot k'_1} k'_2 \right)^{\frac{1}{v}} \right], \quad (16)$$

де R_{z_0} - початкова висота мікропрофілю; P – зусилля контактної взаємодії (див. залежність 5); $c\sigma_T$ - середнє напруження, яке відповідає переходу виступу профілю у пластичний стан; k'_1, k'_2 - коефіцієнти, що враховують зміни відповідно зменшення виступу в залежності від зміни площі його основи та збільшення площі контакту внаслідок переміщення робочої поверхні одиничного елемента.

Формування складової профілю h_4 , яка є показником шорсткості ріжучої поверхні металорізального інструменту, характерне особливостями наступних технологічних чинників: швидкості контактування робочих елементів з поверхнею обробки; напрямом взаємодії інструменту з поверхнею (зустрічна чи попутна обробка); твердість взаємодіючих матеріалів та їх жорсткість; величини натягу; стану поверхневого шару матеріалу після попереднього високотемпературного враження; тривалості експлуатації інструменту тощо. Розрахунок проводиться за формулою:

$$h_4 = h_{np} + h_{nl} = k_{o.n.} \left[\left(\frac{4,7J \cdot P_Y \cdot R_{\max}^v \cdot \sqrt{\rho}}{A_r \cdot b} \right)^{\frac{2v}{2v+1}} + R_{\max} \left(\frac{P_Y}{A_r \cdot b \cdot HB} \right)^{\frac{1}{v}} \right], \quad (17)$$

де h_{np}, h_{nl} - величина абсолютного зближення, відповідно, при пружному та пластичному контакті; A_r - фактична площинка контакту з поверхнею; b, v - початкові параметри кривої опорної поверхні; J – пружна стала контакту.

При обробці інструментом з гнучкими робочими елементами складова висоти мікропрофілю шорсткості h_5 визначається впливом пружних коливань при переміщенні одиничних дротинок внаслідок різниці діючих на поверхню сил, викликаних пружними властивостями їх матеріалу, та нерівномірністю товщини поверхневого шару корозії

$$h_5 = \frac{P_n \cdot \cos \mu \cdot [E_i(1 - \mu_o^2) + E_o(1 - \mu_i^2)]}{\pi \cdot E_o \cdot E_i \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\lambda}{\omega} \right)^2 \right]^2 + (t_h \cdot \lambda)^2}}, \quad (18)$$

де λ, ω - частота збуджуючого зусилля системи та власних коливань; μ - кут тертя у процесі контактної взаємодії ГРЕ з поверхнею.

Результати теоретичних досліджень вказали, що при поздовжньому вимірюванні слідів на довільно прийнятій базовій довжині поверхні її шорсткості становитиме $-R''_{zp} = 17,45 \cdot 10^{-6}$ м, а середній показник шорсткості поверхні основного металу зразка відповідатиме $-R_{zp} = 36,8 \cdot 10^{-6}$ м. Решта характерних параметрів шорсткості складають: $R_a = 9,2 \cdot 10^{-6}$ м та $R_{\max} = 42,23 \cdot 10^{-6}$ м.

Вплив технологічних режимів процесу обробки на зміцнення поверхні.

На ступінь зміцнення поверхневого шару основного металу виробу в процесі обробки найбільше впливають температурні та динамічні чинники, які супроводжуються утворенням наклепу. Цьому явищу властиві: підвищення показників опору металу деформації (поверхнева твердість металу); зниження границь пластичної та ударної в'язкості; зростання границь текучості, тощо. Ступінь зміцнення поверхні металу після механічної обробки буде:

$$k_{zm} = 0,222 \frac{H_{\mu_m}}{H_{\mu_n}} \cdot \frac{P_{\max}}{2R_{11}b_1 + a_1^2}, \quad (19)$$

де H_{μ_n} та H_{μ_m} - мікротвердість поверхні та серцевини матеріалу обробки; a_1 , b_1 - мала й велика півосі перерізу сліду; R_{11} - радіус згину одиничного робочого елемента при контакті з поверхнею обробки.

У процесі термомеханічної обробки, коли зміцнення поверхні здійснюється сумісним впливом електродугового розряду та динамічним контактуванням, доцільніше встановлювати не рівень наклепу шляхом визначення коефіцієнту k_{zm} , а мікротвердість поверхні та глибину його залягання, що представляє реальнішу картину зміцненої поверхні матеріалу деталі.

Особливістю дії на поверхню електророзряду є доволі коротка тривалість теплового впливу ($t_{cp} \approx 0,16c$) та висока швидкість його переміщення, але за цей час відбуваються процеси нагрівання та охолодження поверхневого шару, що викликають гартування об'ємів металу, миттєво нагрітих до температури вище критичних точок сплаву.

Для матеріалу сталь 45 з початковою твердістю HB 197, визначення товщини зміцненого шару h_z з необхідною твердістю HB 278 може досягатися нагріванням металу до температури його гартування $T_z = 860$ °C, отримана необхідна твердість на глибині $h_z^p = 8,8 \cdot 10^{-4}$ м, що відповідає відносній похибці відхилення з результатами експериментів в 6,3%.

Формування у матеріалі внутрішніх залишкових напружень. У процесі термомеханічної обробки матеріал виробу зазнає впливу термодформаційних та фізико-хімічних процесів, які супроводжуються пружно-пластичним деформуванням металу внаслідок нерівномірності нагрівання поверхні електродуговим розрядом, виникненням тимчасових і залишкових внутрішніх напружень, та фазовими і структурними перетвореннями у твердому та розплавленому станах металу. Величина внутрішніх напружень, що виникають лише внаслідок температурного впливу, визначається за характерними границями текучості матеріалу

$$\sigma_m = \left(\Delta_i + \int_0^{h_0} \frac{\Delta_i}{h_0} dY - \int_{h_0}^h \frac{h}{h_0} dY \right) \cdot \frac{E}{1 - \mu}, \quad (20)$$

де σ_m - границі текучості матеріалу; Δ_i - відносне лінійне розширення вільних шарів матеріалу; h_0 - відстань від опорної основи зразка до металу в якому пружні та пластичні деформації рівні між собою.

У процесі комбінованої обробки виникають внутрішні напруження як від температурного впливу електродуги, так і внаслідок силового впливу елементів інструментів. Динамічна енергія контакту багаторазово трансформується, утворюючи силове поле, властиве динамічному зміцненню. Утворене поле формує залишкові напруження, які у сукупності з утвореним температурним напруженням приводить до вимушених змін геометричних форм, наприклад, короблення деталі. Наслідок такого суміщеного впливу на поверхню виробу супроводжується утворенням залишкових напружень стиску (для сталі 20 - до $\sigma_x = 185$ МПа на глибині в $0,15 \cdot 10^{-3}$ м; для сталі 45 - $\sigma_x = 320$ МПа на товщині шару в $0,28 \cdot 10^{-3}$ м; для

сталі 40Х - до $\sigma_x=275$ МПа на глибині в $0,2 \cdot 10^{-3}$ м). Поєднання у процесі обробки двох способів впливу на поверхню - температурного впливу електродуги та динамічного, приводить до кінцевого суміщення величин розтягуючих і стискуючих внутрішніх напружень, які компенсуючи одні одних, приводять до виникнення додаткових стискуючих внутрішніх залишкових напружень, що підтверджується наведеною математичною моделлю, адекватною результатам експериментів.

Розроблена методика проектування технологічного процесу, принципова схема та математична модель одержання внутрішніх напружень стиску, що підтверджено дослідями, і дозволяє запропонувати рекомендації із забезпечення енергетичної рівноваги залишкових напружень з наданням потрібних властивостей деталям з даного матеріалу.

У сьомому розділі розглядається методика проектування технологічного обладнання та оснащення процесу очисно-зміцнюючої обробки великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізничного транспорту. Проектування обладнання, оснащення та інструменту здійснюється шляхом аналізу, розрахунку та синтезу множини технічних і економічних показників, ряд з яких є похідними і виявляються вже в процесі розрахунків. Головним при цьому є забезпечення високих показників якості оброблених поверхонь виробів, стабільність та надійність їх роботи при високій продуктивності, широкій переналадці та мінімальних витратах.

Методика проектування технологічного обладнання ґрунтується на основі його сформованої компоновки, підґрунтям якої є розроблена систематизована класифікація залізничних вантажних вагонів та їх окремих елементів. Оптимізація компоновки – її формалізація та алгоритмізація, пов'язана з застосуванням розроблених математичних моделей термомеханічної обробки, методу оптимізації та лінійного програмування.

Вперше розроблена класифікація елементів вантажних вагонів, що враховує широку номенклатуру виробів і ґрунтується на груповому формуванні із поступовим подрібненням утворених груп на підгрупи і окремі сектори. Для кожного із утворених класифікаційних елементів приймалися свої, найбільш характерні і узагальнені критерії. Схема групування структури класифікації, яка побудована ієрархічним методом, поділена на ряди позицій, що містять цифровий код і назву відповідних класифікаційних угруповань, які характеризуються згідно прийнятих особливостей конструктивних, якісних та фізико-механічних характеристик.

Розроблена компоновка обладнання, оснащення та інструменту передбачає їх переналагоджуваність на технологічному, конструкційному та алгоритмічному рівнях, що забезпечується універсальними функціональними елементами (касетами з набором гнучких робочих елементів, інденторами, тощо) та їх взаємним розташуванням. У розділі представлені, як приклад, конструкції обладнання та оснащення для термомеханічної обробки деталей з листового і фасонного прокату, виробів з циліндричними та криволінійними поверхнями, ободів вагонних коліс, поверхонь виливок та зварювальних швів, плоских поверхонь кузовів вантажних залізничних вагонів, механізми для обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні котлів залізничних цистерн.

Проведено аналіз і наведені техніко-економічні показники технологічного процесу ремонтних робіт вантажних засобів залізничного

транспорту та порівняльний аналіз із рядом підрозділів вагоноремонтних господарств Львівської залізниці: ВЧД-4 Клепарів – очистка візків та колісних пар; ВЧД-2 Дрогобич – очистка зовнішньої поверхні котлів залізничних цистерн та обробка колісних пар; ВЧД-6 Івано-Франківськ – очистка зовнішньої поверхні вантажних вагонів; ВЧД-8 Здолбунів – очистка колісних пар. Представлені калькуляції витрат на обробку вагонних колісних пар та обробку котла цистерни, з яких видно, що при порівнюванні економічних показників технологічних процесів очистки зовнішньої поверхні котлів залізничних цистерн у вагоноремонтних депо ВЧД-2 Дрогобич та ВЧД-4 Клепарів виявлено собівартість роботи за існуючими техпроцесами більша у порівнюванні з розробленими і запропонованими для впровадження у виробництво методами поверхневої обробки: для ВЧД-2 – у 2,12 рази, а для ВЧД-4 – у 3,07 рази.

ВИСНОВКИ

В дисертації зроблений значний вклад у вирішення проблеми вдосконалення технологічних процесів ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту. У результаті виконаних експериментально-теоретичних досліджень вперше створені наукові основи технології формозмінюючої та очисно-зміцнюючої якісної обробки елементів вантажних вагонів. Нові наукові досягнення, одержані в дисертації, приведені теоретичні та експериментальні дослідження розроблених технологічно-методологічних основ проектування обладнання та інструменту для поверхневої обробки виробів зводяться в головному до наступного:

1. В результаті проведеного аналізу сучасного стану ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту в частині застосування очисно-зміцнюючих технологічних процесів виявлено, що у більшості випадків застосовується технологія шротоструменевої обробки великогабаритних конструкцій і вона характерна застосуванням складного, дорогого та енергоємного технологічного обладнання, яке вимагає спорудження окремих виробничих приміщень та колії. Встановлено, що на даний час у вагоноремонтному виробництві відсутні мобільні механічні засоби очисно-зміцнюючої обробки окремо взятих деталей вагонів. Підготовка до ремонтних робіт поверхонь великогабаритних конструкцій, вузлів і деталей вагонів проводиться шляхом їх миття із застосуванням хімреактивів, що вимагає для очищення відходів будівництво та експлуатацію водоочисних комплексів і споруд.

2. Розроблені і реалізовані основні концептуальні методи процесів руйнування та видалення з поверхні деталей шарів залишкових відкладень нафтожирових, лакофарбових та корозійних накопичень, що ґрунтується на особливостях їх зчіплювання з поверхнею металу та властивими їм фізико-механічними характеристиками як динамічної в'язкості (для масложирового відкладення), так і твердості монолітного шару матеріалу (для корозійного нашарування). Так, наприклад, для видалення нафтожирового накопичення із в'язкістю $\nu = (0,9...3,75) \cdot 10^6 \text{ м}^2 / \text{с}$ необхідне зусилля зсуву - $P_{\tau} = (0,8...4,3) \cdot 10^3 \text{ Н}$. Встановлені методи підготовки поверхні виробів до ремонтних робіт, що ґрунтуються на сумісній дії динамічного впливу та енергії миттєвого високотемпературного локального електродугового розряду, що в свою чергу

служує теоретичним підґрунтям для встановлення необхідних якісних характеристик поверхні виробу.

3. Розроблена теоретична модель впливу пружно-пластичної деформації на формування та якісні характеристики матеріалу при поверхневій очистці та ремонтно-відновлювальних роботах великогабаритних конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів залізничного транспорту, внаслідок якої змінюється не лише форма і розміри елементів вагонів, але й якісно формується структура та фізико-механічні властивості металу. Дана теоретична модель ґрунтується на основі дослідженої взаємодії одиничного пружного робочого елемента з поверхнею контактування, його вплив на матеріал поверхні та розподілення динамічних зусиль, що дозволяє встановити механізм формозмінення поверхні.

Уперше змодельований процес динамічного впливу на поверхню обробки комплексно сформованих гнучких і жорстких контактуючих робочих елементів, що дозволяє теоретично встановлювати величину і характер формозмінення та якісне формування поверхневого шару матеріалу. Так, наприклад, при обробці матеріалу Сталь 45 із твердістю $HB\ 197$ з товщиною корозійного шару (прокатна окалина) $h_k = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при радіусі дискового інструменту $R = 0,16 \text{ м}$, який обертається із швидкістю $V_{\text{ш}} = 4,65 \text{ м/с}$; натягу гнучких робочих елементів $H_H = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ та їх діаметрі $d_{\text{оп}} = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, середній показник шорсткості поверхні основного металу відповідатиме - $R_{Zp} = 36,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. При цих же технологічних режимах одержана твердість основного металу $HB\ 242$ на глибині $h_z^{\text{exc}} = 9,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

4. Уперше розроблена математична модель механізму очисно-зміцнюючих технологічних процесів, що ґрунтуються на основі теплового впливу біжучого миттєвого високотемпературного електророзряду. Вплив такого електророзряду на всю товщину багатшарових композитів, різних за своїми фізико-механічними властивостями, ґрунтується на рішенні крайової задачі нестационарного поширення теплового потоку у кожному із прошарків та поверхневому шарі основного металу виробу. Модель даного технологічного процесу дозволяє прогнозувати зміни в поширенні температурних полів у шарах композиту, призначати оптимальні технологічні режими для їх руйнування та оцінювати процеси якісних перетворень поверхні основного металу. Так, наприклад, для руйнування шару корозії та одержання шорсткості поверхні основного металу в межах $R_{Zp} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ оптимальна сила струму для сталі СтЗсп-І $I = (68 \dots 70) \text{ А}$ за умови наступних значень коефіцієнтів теплопровідності матеріалу $\lambda = 37,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ та його температуропровідності $a = 0,073 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$; для Сталі 20-І $I = (70 \dots 73) \text{ А}$ при $\lambda = 38,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ та $a = 0,076 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$; для Сталі 45- І $I = (76 \dots 78) \text{ А}$ - $\lambda = 40,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ та $a = 0,08 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$.

Розроблена модель комплексної обробки при суміщеній дії теплового та динамічного факторів – термомеханічна обробка, у процесі якої здійснюється видалення поверхневих композитних нашарувань і якісне формування поверхні основного металу. У процесі термомеханічної обробки, наприклад, для Сталі 45 із твердістю серцевини $H_{\mu} = (1,96 \dots 2,08) \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$ отримано зміцнення верхнього шару $H_{\mu} = 6400 \text{ МПа}$, а нижнього - $H_{\mu} = 1600 \text{ МПа}$. На глибині $h_z = 430 \text{ мкм}$ мікротвердість становила $H_{\mu} = 5500 \text{ МПа}$; для Сталі У8 з вихідною мікротвердістю поверхні $H_{\mu} = 1660 \text{ МПа}$, на глибині $h_z = 580 \text{ мкм}$

отримано $H_{\mu} = 8400 \text{ МПа}$, а максимально фіксована товщина зміцненого шару даного матеріалу становила $h_z^{\max} = 1970 \text{ мкм}$. Внаслідок термомеханічної обробки в матеріалі виникають внутрішні залишкові напруження. Так, наприклад, в Сталі 20 з границею текучості $\sigma_T = 245 \text{ МПа}$, виникли тимчасові напруження розтягу величиною в $\sigma_X = 960 \text{ МПа}$ з глибиною поширення до $0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, а в Сталі 45 ($\sigma_T = 353 \text{ МПа}$) - $\sigma_X = 670 \text{ МПа}$ на глибині до $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Викладена модель порядку досліджень у вигляді поліному другої степені згідно теорії планування багатофакторних експериментів, приведені основні фактори технологічних процесів та обґрунтовані рівні їх варіювання.

5. Розроблені теоретичні основи аналізу особливостей контактної взаємодії робочих елементів інструменту з поверхнею виробу, її якісного формування та технологічного процесу підготовки до ремонту і безпосередньо ремонтних робіт є вирішення багатокритеріальної задачі і на основі синтезу множини парето-оптимальних рішень, визначені переважаючі критерії оптимальності та призначені показники оптимізації процесу: технологічний процес ремонту; енергоємність технологічного процесу; показник екологічної безпеки ремонтних робіт.

Уперше оптимізовано процес механічної і термомеханічної обробки поверхні деталей, де в якості домінуючого критерію прийнято показник ефективності ремонтних робіт – приведені витрати, встановлений згідно методів варіантної та параметричної оптимізації основних критеріїв техпроцесу, в якому методом візуалізації множини можливих векторів отримана просторова система, де в області багатомірної множини Парето як незалежно отриманих векторів, так і точки їх перетину у просторі дозволяє візуально оптимізувати, реально оцінити і здійснити вибір найкращого технологічного варіанту процесу ремонтних робіт.

6. Розроблена система класифікації деталей вантажних вагонів, яка ґрунтується на основі логічної операції розподілу множини складових елементів засобів рухомого складу на окремі групи (підмножини), і вони задовольняють наступні формальні вимоги: в сумі підмножини дають вихідну множину класифікованих об'єктів (деталей); кожен елемент входить до якогось одного класу; поділ множини на групи здійснюється за однією ознакою. Формування структури класифікації ґрунтується на встановленні максимальної кількості критеріїв, властивих даному механізму або окремим його складовим, здатних всесторонньо і багатогранно їх охарактеризувати. Розробка класифікації залізничних вантажних вагонів і їх окремих елементів, враховуючи широку номенклатуру виробів, ґрунтувалась на груповому формуванні із поступовим подрібненням утворених груп на підгрупи і окремі сектори, де для кожного із утворених класифікаційних осередків приймалися свої, найбільш характерні і узагальнені критерії.

Розроблена методика проектування технологічних процесів очисно-зміцнюючої обробки. При визначенні технологічного процесу ремонтних робіт виділено два етапи роботи: перший – проектування технологічного маршруту, тобто визначення кількості та послідовності необхідних операцій; другий – визначення оптимальної структури окремих операцій. Основою розробки оптимального технологічного процесу є детально розроблена єдина класифікація фрагментів (конструкцій, вузлів і деталей) залізничних вагонів, як елементарних складових виробу в цілому. Така класифікація дозволяє,

узагальнивши характерні особливості кожної окремо взятої деталі, згрупувати їх і розробити для кожної із груп комплексні типові (узагальнені) деталі, об'єднані рядом спільних споріднених характеристик. Оптимальність маршруту організації ремонтно-відновлювальних робіт кожної окремо взятої комплексної деталі залежить від ступеня її руйнування та місця розташування об'єкту пошкодження. Ґрунтуючись на цих двох домінуючих складових – класифікації конструкцій, вузлів і деталей залізничних вагонів та ступені їх руйнування, можна розробити оптимальний типовий технологічний процес ремонтних робіт і вже згідно нього приймати необхідне технологічне обладнання, інструмент та режими механічної обробки і складання, обґрунтованих економічними показниками.

7. Розроблена математична модель встановлення необхідних технологічних режимів процесу механічної та термомеханічної очистки та зміцнюючої поверхню обробки деталей та великогабаритних конструкцій засобів транспорту. Встановлено значення межі мінімальної колової швидкості ($V \leq 6,6$ м/с) обертання інструменту при необхідності виникнення електродугового розряду, що є необхідним для ефективного якісного формування поверхневого шару. Зменшення значення $V_{\text{Шmin}}$ є ефективним лише для очистки товстого шару корозії – $h_k = (1,5 \dots 5,0) \cdot 10^{-3}$ м і литтєвого пригару та надання поверхні шорсткості $R_a = (0,12 \dots 0,2) \cdot 10^{-3}$ м, необхідної для надійного зчеплення з антикорозійним покриттям. Встановлено, що основним впливом на формування шорсткості поверхні є сила електроструму, який під'єднується до системи деталь-інструмент і підвищення якого з 30 до 80 А супроводжується зменшенням середніх показників шорсткості R_a . Оптимальними для отримання найменшого показника R_a є наступні значення сили електроструму: для сталі Ст3пс - $I = (68 \dots 70) \text{ А}$ – $R_a = 0,022 \cdot 10^{-3}$ м; для сталі 20 – $I = (70 \dots 73) \text{ А}$ - $R_a = 0,18 \cdot 10^{-4}$ м; для сталі 45- $I = (76 \dots 78) \text{ А}$ – $R_a = 0,14 \cdot 10^{-4}$ м; для сталі У8А - $I = (64 \dots 66) \text{ А}$ - $R_a = 0,12 \cdot 10^{-4}$ м; для сталі 40Х - $I = (62 \dots 65) \text{ А}$ – $R_a = 0,11 \cdot 10^{-4}$ м.

Уперше наведені математичні залежності встановлення необхідного для термічного гартування тривалості впливу концентрованого теплового джерела, що дозволяє коректувати технологічними режимами обробки та окремими конструктивними особливостями інструменту. домінуючим у зміні показника мікротвердості та глибини її поширення у поверхневому шарі матеріалу є величина сили електроструму і, відповідно, температура дугового розряду. Для зразка з нормалізованої сталі 45 із мікротвердістю серцевини $H_\mu = 2080$ МПа, після процесу термомеханічної обробки зміцнення поверхневого шару досягло 6400 МПа із наступною зміною по глибині матеріалу: 5500 МПа - на глибині $h_z^T = 0,43 \cdot 10^{-3}$ м; 4260 МПа - при $h_z^T = 0,6 \cdot 10^{-3}$ м; 2600 МПа - при $h_z^T = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м.

Оброблення зразка з аналогічного матеріалу лише способом динамічного контактування елементів зміцнило поверхневий шар до $H_\mu = 4700$ МПа, а мікротвердість нижнього шару металу на глибині $0,2 \cdot 10^{-3}$ м становила 2400 МПа. Мікротвердість поверхневого шару матеріалу внаслідок термомеханічного процесу зростає у 2,5...3 рази, що констатовано теоретичним прогнозуванням і підтверджено результатами експериментів.

Механічний та термомеханічний способи взаємного контактування

секцій інструменту з поверхнею виробу вказали, що від впливу лише електродугового розряду у поверхневих шарах металу виникають значні внутрішні напруження розтягу. Так, для Сталі 20 з границею текучості $\sigma_T=245$ МПа, виникли тимчасові напруження розтягу величиною в $\sigma_X=960$ МПа з глибиною поширення до $0,8 \cdot 10^{-3}$ м, а в сталі 45 ($\sigma_T=353$ МПа) - $\sigma_X=670$ МПа на глибині до $0,6 \cdot 10^{-3}$ м. Процес обробки поверхні лише механічною взаємодією супроводжується утворенням залишкових напружень стиску (для сталі 20 - до $\sigma_X=185$ МПа на глибині в $0,15 \cdot 10^{-3}$ м; для сталі 45 - $\sigma_X=320$ МПа на товщині шару в $0,28 \cdot 10^{-3}$ м; для сталі 40Х - до $\sigma_X=275$ МПа на глибині в $0,2 \cdot 10^{-3}$ м).

8. Реалізовано інтегроване комп'ютерно-програмне забезпечення технологічної підготовки ремонтного виробництва на основі концепції технологічного забезпечення та моделювання техпроцесів поверхневої формозмінюючої та очисно-зміцнюючої обробки. Для моделювання динамічних процесів у засобах залізничного транспорту використовуються пакети прикладних програм (Medyna, Adams/Car, Adams/Rail) на основі об'єктивно-орієнтованого програмування, що дозволяє об'єднати в рамках об'єкту всі його параметри та методи роботи з ними, і у підсумку, побудувати програмну модель системи як вектор об'єктів.

Уперше розроблені прикладні комп'ютерні програми для прогнозування впливу технологічних параметрів процесів очисно-зміцнюючої обробки на зміни температурних характеристик поверхневого шару матеріалу елементів вантажних вагонів. Розроблена методика комп'ютерно-програмного прогнозування оптимальних показників шорсткості поверхні, необхідних для ефективної експлуатації та надійного зчеплення з шарами антикорозійного покриття в залежності від вихідного стану поверхні оброблення та її фізико-механічних характеристик, що дозволяє встановлювати оптимальні та енергозощаджуючі технологічні режими процесу очисно-зміцнюючої обробки конструкцій, вузлів та деталей вантажних засобів транспорту. Розроблені комп'ютерні програми для прогнозування впливу технологічних параметрів процесів очисно-зміцнюючої обробки на формування внутрішніх залишкових напружень поверхні та прикладні комп'ютерні програми алгоритму вибору оптимальних параметрів інструментів із врахуванням геометричних особливостей поверхні обробки, матеріалу та характеру поверхневої корозії.

9. Розроблені нові конструкції високопродуктивного екологічно чистого ресурсо- та енергозощаджуючого технологічного обладнання та оснащення. Запропонована стаціонарна установка з каскадом інструментів торцевої конструкції, що дозволяє способом термомеханічної обробки здійснювати підготовку до ремонту заготовок листового прокату одночасно з двох сторін, обладнання для видалення з поверхні виливок литтєвого пригару і ефективністю очищення із здатністю одночасно якісно формувати зовнішні і внутрішні призматичні та фасонні поверхні деталей та установку для обробки зварювальних швів для зняття внутрішніх напружень. Розроблена конструкція установки для обробки зовнішньої та внутрішньої поверхні котлів залізничних цистерн для механічної очистки даної сферичної поверхні і її якісного формування перед нанесенням нового шару антикорозійного і футерувального покриття. Розроблені конструкції інструментів та пристроїв

для ефективного проведення механічної і термомеханічної обробки поверхонь деталей вантажних вагонів при їх підготовці до ремонту і безпосередньо у процесі ремонтних робіт, що вигідно відрізняються від існуючих інструментів в першу чергу своїми можливостями якісно і з високою продуктивністю формувати поверхню основного металу виробів.

Досліджена економічна ефективності методів поверхневої обробки деталей і великогабаритних конструкцій засобів транспорту, що проводилась згідно порівнювального економічного аналізу з існуючими технологічними процесами на ряді підрозділів вагоноремонтних господарств Львівської залізниці: ВЧД-4 Клепарів – очистка візків та колісних пар; ВЧД-2 Дрогобич – очистка зовнішньої поверхні котлів залізничних цистерн та обробка колісних пар; ВЧД-6 Івано-Франківськ – очистка зовнішньої поверхні вантажних вагонів; ВЧД-8 Здолбунів – очистка колісних пар. Представлені калькуляції витрат на обробку вагонних колісних пар та обробку котла цистерни, з яких видно, що при порівнюванні економічних показників технологічних процесів очистки зовнішньої поверхні котлів залізничних цистерн у вагоноремонтних депо ВЧД-2 Дрогобич та ВЧД-4 Клепарів виявлено собівартість роботи за існуючими техпроцесами більша у порівнюванні з розробленими і запропонованими для впровадження у виробництво методами поверхневої обробки: для ВЧД-2 – у 2,12 рази, а для ВЧД-4 – у 3,07 рази.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Куліченко А.Я. Термомеханічна поверхнева очисно-зміцнююча обробка металу: [монографія] / А.Я. Куліченко. – Львів: Вид-во - “Кобзар”, 1997. - 216 с. (13,5 друк. арк.).
2. Куліченко А.Я. Післяремонтні приймальні динамічні випробовування залізничних вагонів, основані на нелінійній стохастичній моделі / А.Я. Куліченко, В.С. Джус // Наукові нотатки: зб. наукових праць. Інженерна механіка. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. – С. 87-94 (0,53 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,4 друк. арк., де досліджена динамічні випробовування залізничних вагонів.
3. Куліченко А.Я. Оптимальне призначення допусків на механічну обробку деталей вагонів у процесі ремонтно-відновлювальних робіт / А.Я. Куліченко, І.П. Лаушник, А.Р. Мілянчик // Залізничний транспорт України. – 2010. - № 1. – С. 21-23 (0,19 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,1 друк. арк., де встановлені величини допусків на технологічні процеси.
4. Куліченко А.Я. Динаміка взаємодії рухомих контактуючих поверхонь на прикладі струмоприймачів електрорухомого складу / А.Я. Куліченко, М.О. Баб'як // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2009. – Вип. 30. – С. 19-26 (0,5 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,35 друк. арк., де теоретично досліджено механізм взаємодії двох контактуючих поверхонь.
5. Куліченко А.Я. Оптимізація технологічних процесів ремонту вагонів на основі класифікації елементів рухомого складу залізниці / А.Я. Куліченко, І.П. Лаушник // Наукові нотатки: зб. наукових праць. Інженерна механіка. – Луцьк: ЛНТУ, 2009. – С. 123-127 (0,31 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,2 друк. арк., де розроблена структура класифікації деталей і складальних одиниць.
6. Куліченко А.Я. Методика розрахунку деформації бокових рам вагонних

візків / А.Я. Куліченко // Транспортні системи і технології: зб. наукових праць. – К.: ДЕДУТ, 2009. – С. 79-83 (0,31 друк. арк.).

7. Куліченко А.Я. Підвищення терміну експлуатації бокових рам вагонних візків / А.Я. Куліченко, А.Р. Міляннич // Транспортні системи і технології: зб. наукових праць. – К.: ДЕДУТ, 2009. – С. 84-88 (0,31 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,22 друк. арк., де теоретично встановлено вплив внутрішніх напружень на міцність конструкції.

8. Куліченко А.Я. Розрахунок гранично допустимих відхилень параметрів деталей в засобах залізничного транспорту / А.Я. Куліченко, А.Р. Міляннич // Залізничний транспорт України. – 2009. - № 2. – С. 51-53 (0,19 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,12 друк. арк., де теоретично доведено граничні межі можливих відхилень розмірів елементів вагонів.

9. Куліченко А.Я. Система класифікації деталей вантажних вагонів залізничного транспорту / А.Я. Куліченко // Залізничний транспорт України. – 2009. - № 3. – С. 7-10 (0,25 друк. арк.).

10. Куліченко А.Я. Узагальнене рівняння розрахунку пружно-динамічного переміщення ланок механізмів у засобах залізничного транспорту / А.Я. Куліченко // Залізничний транспорт України. – 2008. - № 4 – С. 12-14 (0,19 друк. арк.).

11. Куліченко А.Я. Зміцнення поверхні деталей транспортних засобів інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко, А.Р. Міляннич // Залізничний транспорт України. – 2008. - № 3 – С. 29-31 (0,19 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,14 друк. арк., де теоретично досліджено механізм взаємодії одиничного робочого елемента із поверхнею обробки.

12. Куліченко А.Я. Оптимізація параметрів точності при виготовленні і ремонті деталей засобів транспорту / А.Я. Куліченко // Залізничний транспорт України. -2008. - № 1 – С. 38-40 (0,19 друк. арк.).

13. А.Куліченко. Методика розрахунку векторних розмірних ланцюгів при виготовленні інструменту з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко // Транспортні системи і технології: зб. наукових праць. Випуск 13 - Київ, ДЕДУТ, 2008. - С. 201-207 (0,44 друк. арк.).

14. Куліченко А.Я. Варіаційний принцип опису пружно-динамічного переміщення елементів механізмів на прикладі струмоприймача пантографного типу електротранспорту / А.Я. Куліченко, М.О. Баб'як // зб. наукових праць, № 5(123), част.2 –Луганськ, 2008. - С. 7-16 (0,625 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,5 друк. арк., де теоретично досліджено механізм впливу динамічних факторів на переміщення у просторі пантографа.

15. Куліченко А.Я. Зміцнення поверхневого шару циліндричних деталей механізмів засобів транспорту обробкою інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко // Проблемы механики железнодорожного транспорта: материалы XII Международной конференции, 18-19 мая 2008 г. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. - С. 46-49 (0,25 друк. арк.).

16. Куліченко А.Я. Ефективність та довговічність експлуатації гвинтових пружин механізмів пантографів залізничного електротранспорту / А.Я. Куліченко, М.О. Баб'як // Підйомно-транспортна техніка. – 2008. - № 1. – С. 79-89 (0,69 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,75 друк. арк., де теоретично досліджено тривалість експлуатації пружин в умовах максимального навантаження.

17. Куліченко А.Я. Підвищення ресурсу бокових рам вагонних візків методом зміцнення пластичним деформуванням інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко, М.В. Політило // Проблеми та

перспективи розвитку залізничного транспорту: зб. матеріалів 68 Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 травня 2008 р. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2008. – С. 110-111 (0,125 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,08 друк. арк., де досліджена технологія зміцнення деформуванням.

18. Куліченко А.Я. Процес відокремлення шару корозії з поверхні деталі пружними ріжучими елементами / А.Я. Куліченко// Підйомно-транспортна техніка. – 2007. - № 2 – С. 67-73 (0,44 друк. арк.).

19. Куліченко А.Я. Методика визначення якісних характеристик поверхні металу, обробленої інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко // Транспортні системи і технології: зб. наукових праць. – Київ. - 2007. - С. 67-69 (0,19 друк. арк.).

20. Куліченко А.Я. Динаміка обробки плоскої поверхні інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко //Залізничний транспорт України.- 2007. - № 4. –С. 64-68 (0,31 друк. арк.).

21. Куліченко А.Я. Розрахунок температури контактуючих елементів процесу очищення котлів цистерн /А.Я. Куліченко// Рухомий склад: зб. наук. праць. –Харків: ХТА, 2007.– С. 47-53 (0,44 друк. арк.).

22. Куліченко А.Я. Тертя ковзання при очистці котлів цистерн механічними щітками /А.Я. Куліченко// Залізничний транспорт України. – 2006. - № 1. – С. 53-54 (0,125 друк. арк.).

23. Куліченко А.Я. Надійність з'єднання з натягом деталей у конструкціях рухомого складу / А.Я. Куліченко// Залізничний транспорт України. – 2006. - № 3. – С. 55-56 (0,125 друк. арк.).

24. Куліченко А.Я. Розрахунок контактної взаємодії гнучких елементів інструменту з деталлю у процесі поверхневого очищення / А.Я. Куліченко// Залізничний транспорт України. – 2006 - № 6. – С. 97-98 (0,125 друк. арк.).

25. Куліченко А.Я. Концентрація внутрішніх напружень поверхні фасонних деталей у процесі обробки гнучкими робочими елементами /А.Я. Куліченко// Транспорт: зб. наукових праць. Спец. випуск, № 8 (102). – Луганськ: Східноукраїнський націонал. університет. - Луганськ: СНУ, 2006. - - С. 158-161 (0,25 друк. арк.).

26. Куліченко А.Я. Перспектива прогресивного методу поверхневої очистки цистерн згідно економічно-порівняльних характеристик з існуючими технологіями / А.Я. Куліченко, А.Р. Мілянч // Проблеми економіки транспорту: зб. матеріалів V Міжнародної наукової конференції, 27-28 квітня 2006 р. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2006. – С. 52-53 (0,125 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,09 друк. арк., де досліджена технологія очистки цистерн.

27. Куліченко А.Я. Вплив процесу поверхневої очистки цистерн на нежорстко закріплений привідний вал інструменту / А.Я. Куліченко // Підйомно-транспортна техніка. – 2006. - № 3. – С. 65-71 (0,44 друк. арк.).

28. Куліченко А.Я. Поширення теплоти у матеріалі котлів цистерн при обробці інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко// Наукові нотатки: зб. наук. праць.- Луцьк: ЛТУ, 2005. - С. 124-137 (0,87 друк. арк.).

29. Куліченко А.Я. Пружні особливості приводу переміщення механізму очистки поверхні вагонів / А.Я. Куліченко// Підйомно-транспортна техніка.–2005, № 3 – С. 52-56 (0,312 друк. арк.).

30. Куліченко А.Я. Вплив коливання інструменту на ефективність

очищування котлів залізничних цистерн /А.Я. Куліченко// Транспорт: Спец. випуск, № 8 (90), част.2. – С. 249-252 (0,25 друк. арк.).

31. Куліченко А.Я. Методика розрахунку на міцність елементів котла цистерни / А.Я. Куліченко// Залізничний транспорт України. - 2005, № 5- 6. - С.48-50 (0,19 друк. арк.).

32. Куліченко А.Я. Пружно-пластичні коефіцієнти концентрації напружень і деформацій елементів залізничних вантажних вагонів / А.Я. Куліченко// Підйомно-транспортна техніка. – 2005. - № 4. – С. 40-48 (0,56 друк. арк.).

33. Куліченко А.Я. Теплові явища процесу обробки поверхні металу торцювими щітками / А.Я. Куліченко // Пожежна безпека: зб. наукових праць. – Львів: ЛШЖ, 2005. - № 6. - С. 123-130 (0,5 друк. арк.).

34. Куліченко А.Я. Поширення теплових полів при термомеханічній обробці поверхні металу дисковими щітками / А.Я. Куліченко // Пожежна безпека: : зб. наукових праць. – Львів: ЛШЖ, 2005. - № 7. – С. 118-123 (0,375 друк. арк.).

35. Куліченко А.Я. Розрахунок температурних полів при обробці цистерн механічними щітками /А.Я. Куліченко// Залізничний транспорт України. - 2005. - № 1. - С. 41-43 (0,187 друк. арк.).

36. Куліченко А.Я. Моделювання процесу зовнішнього тертя у вузлах рухомих механізмів /А.Я. Куліченко, В.С. Джус, А.Р. Міляннич// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: зб. наукових праць. Спец. випуск. № 1,2 (51,52). – Харків: УДАЗТ, 2005. – С. 12-14 (0,187 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,12 друк. арк., де досліджена взаємодія двох контактуючих поверхонь із різною шорсткістю.

37. Куліченко А.Я. Зміцнення поверхні деталей термомеханічною обробкою інструментом з гнучкими робочими елементами / А.Я. Куліченко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: зб. матеріалів 65 Міжнародної науково-практичної конференції, 19-20 травня 2005 р. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2005. – С. 62-63 (0,125 друк. арк.).

38. Куліченко А.Я. Поширення теплових потоків у матеріалі котлів залізничних цистерн /А.Я. Куліченко, В.С. Джус, А.Р. Міляннич//зб. наукових праць. Наукові нотатки. – Луцьк: ЛТУ, 2004. - С. 75-84 (0,625 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,45 друк. арк., де проведене теоретичне дослідження поширення температурних полів у багатопаровій поверхні металу.

39. Куліченко А.Я. Температурні деформації металу при обробці дисковими механічними щітками/ А.Я. Куліченко//зб. наукових праць. Транспортні системи і технології. – К.: ДЕТУТ, 2004. - С. 107-110 (0,25).

40. Куліченко А.Я. Спосіб металізації поверхні обода вагонного колеса / А.Я. Куліченко, А.Р. Міляннич// Залізничний транспорт України. – 2004. - № 4. - С.45-46 (0,125 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,09 друк. арк., де досліджена технологія металізації поверхні деталей.

41. Куліченко А.Я. Зносостійкість робочих елементів інструменту для очистки цистерн /А.Я. Куліченко, І.П. Лаушник, А.Р. Міляннич// зб. наукових праць. Транспортні системи і технології – К.: ДЕТУТ, 2003. - С. 108-111 (0,25 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,15 друк. арк., де досліджений механізм контактної взаємодії робочого елемента інструменту з поверхнею обробки.

42. Куліченко А.Я. Підвищення довговічності лопаток установки шротоструменевої обробки / А.Я. Куліченко, І.П. Лаушник, А.Р. Міляннич// Залізничний транспорт України. – 2003. - № 6. - С. 77-78 (0,125 друк. арк.). Особисто

здобувачу належить 0,09 друк. арк., де досліджений механізм нанесення шару зносостійкого металу на турбінні лопатки.

43. Куліченко А.Я. Механізм для очищення зовнішньої поверхні цистерн / А.Я. Куліченко, І.П. Лаушник, А.Р. Міляннич// Залізничний трансп. України. – 2002. - № 6. - С. 52-53 (0,125 друк. арк.). Особисто здобувачу належить 0,09 друк. арк., де запропонована конструкція механізму очистки зовнішньої поверхні котла цистерни.

44. Куліченко А.Я. Продуктивність процесу поверхневої термомеханічної очисно-зміцнюючої обробки комбінованим інструментом /А.Я. Куліченко. К., 1998.-10 с. (0,625 друк. арк.). Деп. в ДНТБ України, 23.03.98, № 145.

Додаткові результати дисертації відображені у роботах:

45. Пат. 69810 Україна, МПК В08В9/02. Механізм для очистки поверхні котла цистерни: Пат. 69810 Україна, МПК В08В9/02 /А.Я.Куліченко, А.Р.Міляннич// (Україна) - № 20031211212; Заявлено 09.12.2003; Опубл. 15.09.2004, Бюл. № 9. - 4 с.

46. Пат. 67531 Україна, МПК В08В9/02. Механізм для очистки внутрішньої поверхні котла цистерни: Пат. 67531 Україна, МПК В08В9/02 /В.С.Джус, А.Я.Куліченко, А.Р.Міляннич// (Україна) - № 2003109193; Заявлено 13.10.2003; Опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6. - 4 с.

47. Пат. 65786 Україна, МПК В08В1/00. Механічна щітка для видалення із котла залізничних цистерн залишків нафто-мастильних речовин: Пат. 65786 Україна, МПК В08В1/00 /А.Я.Куліченко, І.П.Лаушник, А.Р.Міляннич// (Україна) - № 2003054683; Заявлено 23.05.2003; Опубл. 15.04.2004, Бюл. № 4. - 4 с.

48. Пат. 59746 Україна, МПК В08В9/02. Установка для очистки зовнішньої поверхні залізничних цистерн: Пат. 59746 Україна, МПК В08В9/02 /А.Я.Куліченко, І.П.Лаушник, А.Р.Міляннич// (Україна) - № 20021210031; Заявлено 12.12.2002; Опубл. 15.09.2003, Бюл. № 9. - 4 с.

Додаткові праці:

49. Куліченко А.Я. Пристрої у металообробці: [підручник для ВНЗ] / А.Я. Куліченко – Львів: Вид-во – ЗУКЦ, 2008. – 454 с. (28,37 друк. арк.).

50. Куліченко А.Я., Міляннич А.Р. Математичний аналіз роботи струмоз’ємного механізму електротранспорту.: [монографія] / А.Я. Куліченко, А.Р. Міляннич. – Львів: Вид-во – ПАІС, 2011. – 252 с. (14,6 друк. арк.).

АНОТАЦІЯ

Куліченко А.Я. Науково-технологічні основи ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 “Експлуатація та ремонт засобів транспорту”. Національний університет залізничного транспорту імені акад. В.Лазаряна, Дніпропетровськ, 2011.

Дисертацію присвячено проблемі вдосконалення організаційної форми технологічних процесів ремонту деталей і конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту та розвитку теорії технології підвищення якісних характеристик виробів з метою їх тривалого ресурсозбереження шляхом пояснення механізму формування поверхні розробленим багатофункціональним методом обробки комбінованими інструментами та пристроями блочно-модульної структури. Обґрунтовано формалізовані критерії вибору функціональної загальності та структурної збіжності деталей вантажних вагонів та сформована їх комплексна класифікація із врахуванням ступені пошкодження. Розроблені напівемпіричні моделі встановлення діапазонів формування поверхні виробів робочими органами і

запропоновано комплексні розрахункові схеми руйнування та деформування ними поверхневих шарів узагальнених структур. Розроблено методи синтезу структур поверхневих відкладень та визначення раціональних технологічних режимів обробки і параметрів переналагоджування модулів комбінованих інструментів. Запропоновано принципово нові конструкції інструментів та пристроїв формування поверхні деталей вантажних засобів транспорту.

Ключові слова: деталь, конструкція, інструмент, поверхня обробки, якісні показники, технологічний процес, режими обробки, робочі елементи, шорсткість, зміцнення поверхні, внутрішні напруження.

АННОТАЦІЯ

Куличенко А.Я. Научно-технологические основы ремонтного производства грузовых средств железнодорожного транспорта. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени доктора технических наук за специальностью 05.22.20 “Эксплуатация и ремонт средств транспорта”. Национальный университет железнодорожного транспорта имени акад. В.Лазаряна, Днепропетровск, 2011 г.

Ключевой задачей в перевозке грузов железнодорожным транспортом является повышение его эффективности и безопасности при эксплуатации грузовых средств подвижного состава, потому непрерывно и целенаправленно осуществляются работа в развитии материально-технической базы железнодорожного транспорта, основной составляющей которого является вагоноремонтные предприятия. Повышение объема грузовых перевозок будет невозможным без усовершенствования вагоноремонтной базы, эффективного использования производственных мощностей, оптимальной реализации существующих, разработки и внедрения новых технологий ремонтных работ.

В данное время на вагоноремонтных предприятиях внедрен целый ряд техпроцессов ремонтно-восстановительных работ по повышению прочности, надежности и долговечности деталей, узлов и конструкций грузовых средств железнодорожного транспорта. Но значительно количество единиц грузовых средств, направляемых в вагоноремонтные депо, имеют наряду с эксплуатационным износом элементов, еще и значительные разрушения материала деталей и конструкций вследствие образования поверхностного коррозионного наслоения, вызванного как влиянием атмосферных и технических факторов, так и в результате влияния перевозимых химреактивов.

В данной диссертационной работе представлены научно обоснованные модели технологических процессов как подготовки к ремонтным работам поверхностей конструкций, узлов и деталей грузовых железнодорожных вагонов, так и непосредственно ремонт этих элементов, основанный на формировании качественных показателей поверхностного слоя металла - шероховатость поверхности, упрочнение поверхностного слоя, стабилизация внутренних остаточных напряжений и формирование структуры материала. Кроме того, данные модели технологических процессов предусматривают качественную подготовку поверхностей этих изделий для нанесения антикоррозионного покрытия.

Разработанные модели технологических процессов предусматривают применение мобильных металлообрабатывающих инструментов с гибкими и

жесткими рабочими элементами, к которым подсоединяется одна фаза электрического тока. Вторая фаза контактирует с обрабатываемым изделием, вследствие чего в процессе обработки образуется мгновенный высокотемпературный электророзряд, который способствует разрушению поверхностных слоев старого лакокрасочного покрытия, ржавчины, прокатной окалины и качественному формированию поверхностного слоя металла, и в частности в области сварочных швов. Сочетание упругопластической деформации с электродуговым высокотемпературным влиянием на поверхность изделий способствует быстрой ее очистке и качественному формированию. Такие модели технологических процессов существенно отличаются от принятых в данное время в практике вагоноремонтных предприятий методов обработки поверхности изделий при их подготовке к ремонтным работам.

В данной работе автором разработана система классификации деталей грузовых вагонов, основанной согласно операции распределения множества составных элементов средств подвижного состава на отдельные группы (подмножества), которые удовлетворяют следующие условия: в сумме подмножества дают исходное множество классифицированных объектов (деталей); каждый элемент относится к одному классу; деление множества на группы осуществляется по одному признаку. Формирование структуры классификации основано на определении максимального количества критериев, присущих данному механизму или отдельных его составляющих, способных всесторонне их охарактеризовать.

В диссертации представлены разработанные автором теоретические основы анализа особенностей контактного взаимодействия рабочих элементов инструментов с поверхностью обработки, ее качественного формирования и технологических процессов ремонтных работ, основанного на решении многокритериальной задачи, согласно синтеза множества парето-оптимальных решений; определены преобладающие критерии оптимальности и назначены показатели оптимизации процесса – техпроцесс ремонта, его энергоемкость и показатели экологической безопасности. Также разработана математическая модель определения оптимальных технологических режимов процессов механической и термомеханической очистки, упрочнения и формирования показателей шероховатости обрабатываемых поверхностей.

В данной диссертационной работе реализовано интегрированное компьютерно-программное обеспечение технологической подготовки вагоноремонтного производства на основе концепции технологического обеспечения и моделирования техпроцессов обработки поверхностей элементов вагонов.

В работе представлены разработанные новые конструкции высокопродуктивного экологически чистого ресурсо- и энергосберегающего технологического оборудования и оснастки. Также произведено исследование экономической эффективности методов и оборудования для обработки деталей и крупногабаритных конструкций средств грузового железнодорожного транспорта, которое проводилось согласно сравнительного экономического анализа с действующими техпроцессами на ряде вагоноремонтных предприятий Львовской железной дороги.

Ключевые слова: деталь, конструкция, инструмент, поверхность обработки, качественные показатели, технологический процесс, режимы обработки, рабочие элементы, шероховатость и упрочнение поверхности, внутренние напряжения.

ANNOTATION

Kulichenko A.Y. Scientific and technological bases of repair works of railway freight transport. - Manuscript.

The thesis for a scientific degree of the Doctor of Technical Sciences, speciality 05.22.20. "Operation and Repair of Transport Means". The Dniepropetrovsk National University of Railway Transport named Academician V.A.Lazaryan, 2011.

The thesis is dedicated to the problem of organizational form improvement of the technological processes of the details repair and freight rolling stock constructions at railway and development the theory technology of increasing the products qualitative features for the purpose of theirs long recourse care by explanations of the surface forming mechanism by designed multifunctional method of the processing multifunction instruments and block-module structure device. Formed criteria of the choice functional generalization and structured details likeness of the freight cars are motivated and their complex classification taking into account the damage degree is formed. Half-empirical models of the installation diapasons forming products surface by working bodies are designed and complex calculation schemes destructions and deformation by them surface layers of the generalized structures are offered. The syntheses methods of the surface postponing structures and determinations rational technological modes of processing and parameter retuning modules multifunction instruments are worked out. Principal new instruments and devices structures of the details surface forming of the freight means of transport are offered.

Keywords: detail, construction, surface of the processing, qualitative factors, technological process, modes, worker elements, roughness and surfaces strengthening.