

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “Транспортна інженерія”

Кафедра “Локомотиви”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав.кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

“ 11 ” сі 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “Дослідження буксового вузла тепловоза серії 2ТЭ116”

за освітньою програмою: “Локомотиви та локомотивне господарство”
зі спеціальності 273 “Залізничний транспорт”
галузі знань 27 “Транспорт”

Виконав: студент групи ЛГ2221

_____ Андрій РОМАНУШКО
Керівник _____ Володимир СЕРДЮК
Нормоконтролер _____ Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент _____

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”
Department “*Locomotives*”

Explanatory Note
to Master’s Thesis

master

on the topic: “**STUDY OF THE 2TE116 SERIES BUSHING ASSEMBLY**
”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”
in the Speciality 273 “*Railway transport*”
Branch of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group *LG2221*:

Andrey ROMANUSHKO

Scientific Supervisor: Volodymyr SERDYUK

Normative controller: Lyudmyla KOLODIY

Dnipro, 2024

5. Перелік питань до розробки та термін виконання

Назва розділу магістерської роботи		Термін виконання	Обсяг розділу, %
1 Характеристика існуючих методів відновлення зношених деталей рухомого складу 2 Особливості технології ремонту деталей електролітичним		04.12.2023	30
3 Методики і прилади експериментальних досліджень		20.12.2023	30
4 Модель і методика оцінки надійності технології залізнення як методу відновлення 5 Надійність технологічного процесу по параметру «міцність зчеплення» 6 Надійність технологічного процесу по параметру «товщина відновлювального шару»		15.01.2024	40

Дата видачі завдання « 20 » січня 2023 р.

Керівник магістерської роботи _____ Сердюк В.Н.
(підпис) (ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ Романушко А.С.
(підпис) (ПІБ)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура. Дипломна магістерська робота на тему: «Дослідження буксового вузла тепловоза серії 2ТЭ116» включає в себе 6 креслень, 70 аркушів розрахунково-пояснювальної записки та складається з 5 частин. Проект містить рисунки, таблиць та список використаних джерел з 10 найменувань.

Об'єкт досліджень - процеси експлуатації та ремонту рухомого складу залізниць України.

Предмет досліджень - ремонт буксових вузлів колісних пар тепловозів.

Методи досліджень. Для оцінки показників надійності буксових вузлів і технологічних процесів відновлення застосовували методи теорій ймовірностей і надійності. Вимірювання зношення корпусів букс здійснювали відомими інструментальними методами. Структуру та механічні властивості відновлювальних шарів заліза досліджували метало фізичними методами.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні основні завдання дослідження:

- представлено методи і прилади експериментальних досліджень буксового вузла;
- розглянуто умови та методи досліджень міцності зчеплення та зносостійкості відновлювальних шарів
- розроблено модель і методика оцінки надійності технології залізнення як методу відновлення;
- розроблено повний фактичний і оптимальний рівень надійності технологічного процесу відновлення залізненням.
- розрахована параметрична надійність корпусів букс при зносових умовах.

Ключові слова: БУКСОВИЙ ВУЗОЛ, МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ, ШАРИ ЗАЛІЗА, ЗНОСОСТОЙКІСТЬ ВІДНОВЛЕННИХ ШАРІВ, МОДЕЛЬ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ, НАДІЙНОСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСА, ПАРАМЕТРИЧНА НАДІЙНІСТЬ, КОРПУС БУКСИ.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		1

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1 Конструктивно - технологічна характеристика буксових вузлів тепловозів 2ТЭ116	10
1.2 Характеристика існуючих методів відновлення зношених деталей рухомого складу	
1.3 Особливості технології ремонту деталей електrolітичним	16
2 МЕТОДИКИ І ПРИЛАДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 Умови нанесення відновлювальних шарів заліза	24
2.2 Методи досліджень товщини та механічних властивостей шарів заліза	29
2.3 Умови та методи досліджень міцності зчеплення та зносостійкості відновлювальних шарів.....	30
3 НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ШАРІВ ЗАЛІЗА	34
3.1 Модель і методика оцінки надійності технології залізнення як методу відновлення	34
3.2 Надійність технологічного процесу по параметру «міцність зчеплення»....	40
3.3 Надійність технологічного процесу по параметру «товщина відновлювального шару»	51
3.4 Повний фактичний і оптимальний рівень надійності технологічного процесу відновлення залізненням	
4 ПАРАМЕТРИЧНА НАДІЙНІСТЬ КОРПУСІВ БУКС ПРИ ЗНОСОВИХ ВІДМОВАХ	59
4.1 Характеристика і механізм зношення корпусів букс, виготовлених з базового матеріалу.....	59

					<i>0032-180138 МР ПЗ</i>			
	4.2 Працездатність відновлених корпусів букс за критерієм витривалості.....							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження буксового вузла тепловоза серії 2ТЭ116	Лім.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Романушко							
Перевір.	Сердюк В.Н.						5	93
Реценз.							УДУНТ гр.ЛГ2221	
Н. Контр.	Колодій							
Затверд.	Боднар							

5 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВИХ РОЗРОБОК.....	72
5.1 Система-лінія позаванного відновлення корпусів букс	72
5.2 Тиристорне джерело напруги для живлення корпуса букси як електролізера залізнення	77
5.3 Основні операції й ефективні режими технологічного процесу відновлення корпусів букс.....	85
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

ВСТУП

Парк рухомого складу залізничного транспорту України налічує 4,8 тис. локомотивів і 4 тис. вагонів електро та дизель-поїздів [1]. Із наведеного відпрацювали свій нормативний термін служби 55 % електровозів, 18 % тепловозів, 40 % секцій електропоїздів і 46 % секцій дизель-поїздів [2]. Зокрема, через невиконання вимог законодавчих актів щодо задоволення потреб залізничного транспорту у транспортних засобах, надмірне падіння обсягів капітального ремонту і дефіцит запасних частин ступінь зношення тепловозів у середньому сягає 70,3 %.

Тому забезпечення високої надійності та продовження ресурсу існуючого рухомого складу залізниць України шляхом його відновлення являється найважливішою з усіх пріоритетних задач галузі [3, 4]. До того ж в існуючій ситуації стану економіки країни першочергового значення набуває рішення поставленої задачі шляхом повторного використання деталей після їх відновлення та зміцнення. Це диктується тим, що на відновлення спрацьованої деталі до номінальних параметрів витрачається матеріалів, електроенергії та праці, а також утворюється шкідливих забруднень у 10–100 разів менше, ніж на виготовлення нової [5]. Тому в усьому світі вважають, що, якщо зношені локомотиви і вагони можливо модернізувати чи відновити їх ресурси, то це слід робити, так як це обходиться на 40–80 % дешевше, ніж будувати нові [4]. Зокрема, собівартість відновлення деталей механічної частини машин у 2–3 рази менше, ніж ціна нових [5–7]. А використанням новітніх технологій нанесення зносостійких матеріалів при відновленні деталей можна доводити ресурс їх роботи до рівня нових і навіть перевищувати його. В той же час у ремонтному виробництві залізниць відновлюється тільки 10–12 % деталей механічної частини рухомого складу, а доцільно не менше 70 %.

Із механічного устаткування тепловозів найбільш відповідальними вузлами є колісні пари. І в той же час найбільший відсоток – 27–29 % – складають позапланові ремонти по пошкодженням колісних пар. При цьому найбільший показник цих ремонтів на 1 млн. км пробігу належить буксовим вузлам (після бандажів), надійна робота яких багато в чому визначає безпеку руху поїздів. Основні пошкодження відбуваються внаслідок зношення корпусів букс. В той же час задача відновлення

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

зношених корпусів знаходиться лише на самому початку свого розв'язання: 4–5 роки тому їх ніяк не відновлювали, а замінювали новими, що коштує ~ 4100–5000 грн. для тепловоза 2ТЭ116.

На даний момент найпоширенішим методом відновлювання корпусів букс являється метод наплавлення. Але цій технології притаманні наступні недоліки: по-перше, цей процес відносно складний і трудоемкий. По-друге, він передбачає наступну механічну обробку, яка вимагає дуже міцних різців та фрез. По-третє, біля 80 % деталей рухомого складу має невеликі зноси, тобто потрібно наносити тонкий шар металу, наприклад, найбільш імовірний знос корпусів букс складає 0,5–0,6 мм. В той же час, мінімальна товщина покриття при напавленні – 2–3 мм, таким чином, основна частина напавленого металу перетворюється в стружку. Нарешті, наплавлення вимагає високої кваліфікації зварювальника. Наплавочні матеріали на сьогодні дефіцитні. Крім цих недоліків, напавленню притаманні також «специфічні» недоліки: неможливість відновлювати тонкостінні великогабаритні деталі, а також деталі малих розмірів (внаслідок того, що вони втрачають первісну форму в результаті дії високотемпературного режиму процесу), деталі складної конфігурації, а також неможливо відновлювати "місцеві" зношення в труднодоступних місцях.

У зв'язку з вищевикладеним оцінка існуючого рівня надійності роботи корпусів букс колісних пар тепловозів та розробка нових, більш простих, ресурсозберігаючих технологій їх відновлення, які до того ж забезпечують високий рівень надійності і здешевлення ремонту, є актуальною задачею теоретичних і практичних досліджень.

Мета роботи – удосконалення технології відновлення буксового вузла тепловоза 2ТЭ116.

Задачами дослідження є:

– встановити кількісні імовірносно-статистичні закономірності зносу корпусів букс тепловозів 2ТЭ116;

– розробити модель і методику оцінки більш високої надійності технологічного процесу відновлення зношених деталей електролітичним методом і

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

чисельно оцінити надійність технології позаванного відновлення зношених корпусів букс тепловозів нанесенням шарів гальванічного залізнення;

– виконати порівняльні прискорені й експлуатаційні випробування на зносостійкість корпусів букс нових і відновлених різними методами;

– розробити модель формування поступової відмови за критерієм зношування, а також оцінити і порівняти показники параметричної надійності корпусів букс відновлених різними методами;

– виконати прогнозування параметрів надійності роботи корпусів букс, відновлених різними методами;

– оцінити працездатність відновлених корпусів букс за критерієм витривалості;

– розробити і виготовити дослідно-промислову установку і на її базі налагодити і впровадити технологічний процес відновлення корпусів букс тепловозів методом позаванного проточного електролітичного залізнення.

Об'єкт досліджень – процеси експлуатації та ремонту тепловозів 2ТЭ116.

Предмет досліджень – ремонт буксових вузлів колісних пар тепловозів.

Методи досліджень. Для оцінки показників надійності буксових вузлів і технологічних процесів відновлення застосовували методи теорій імовірностей і надійності. Вимірювання зношення корпусів букс здійснювали відомими інструментальними методами. Структуру та механічні властивості відновлювальних шарів заліза досліджували метало фізичними методами на приборах ПМТ-3, ДРОН-2, «Неофіт». Зносостійкість досліджували на машині тертя СМЦ-2, механічні властивості – на машинах УГ20/2, МУІ -6000, УКІ - 10М. Електротехнічні виміри виконували осцилографічно на приборах С1-17, С1-18, С1-68, С1-83 та з використанням вимірювальних приладів з класом точності 0,5.

Обробку експериментальних даних проводили на ПЕОМ, використовуючи методи математичної статистики.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Конструктивно-технологічна характеристика буксових вузлів тепловозів

Конструктивно-технологічні параметри будь-якої деталі тепловозів, що зношується, її функціональне призначення й особливості роботи є визначальними при розробці технології відновлення. У зв'язку з цим проаналізуємо вказане для буксових вузлів, зокрема, корпусів букс колісних пар тепловозів 2ТЭ116, що експлуатуються на залізницях України.

Як відомо, буксовий вузол призначений для реалізації з'єднання колісних пар із рамою візка і повинен відповідати високій надійності та низьким трудо- і матеріалоемностям в експлуатації і ремонті. Букси передають вертикальні і горизонтальні (сили тяги і гальмування, поперечні від набігання на рейку) сили між рамою візка і колісних пар. Крім того, букси обмежують подовжні і поперечні переміщення колісної пари щодо рами візка. Вертикальні статичні навантаження на букси досягають 94–100 кН, а при русі тепловоза вони зростають у 1,3–1,5 рази. Одночасно на буксові вузли діють подовжні тягові і гальмові зусилля 20–25 кН, удари коліс на стиках, що викликають прискорення букс, і рамні зусилля до 50–75 кН. Сукупністю цих діючих сил визначається конструкція буксового вузла, що повинна забезпечити безпеку руху, експлуатаційну довговічність підшипників не менш 2,5 млн. км пробігу.

Корпус букси 7 (рис. 1.1) двома повідцями 23 з'єднаний з рамою візка. З'єднання валиків повідців з корпусом букси і рамою візка виробляється за допомогою клинових з'єднань. Литий корпус букси має також і два бічних опорних кронштейни (крила) для установки пружин ресорного підвішування візка і сприйняття вертикального навантаження.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

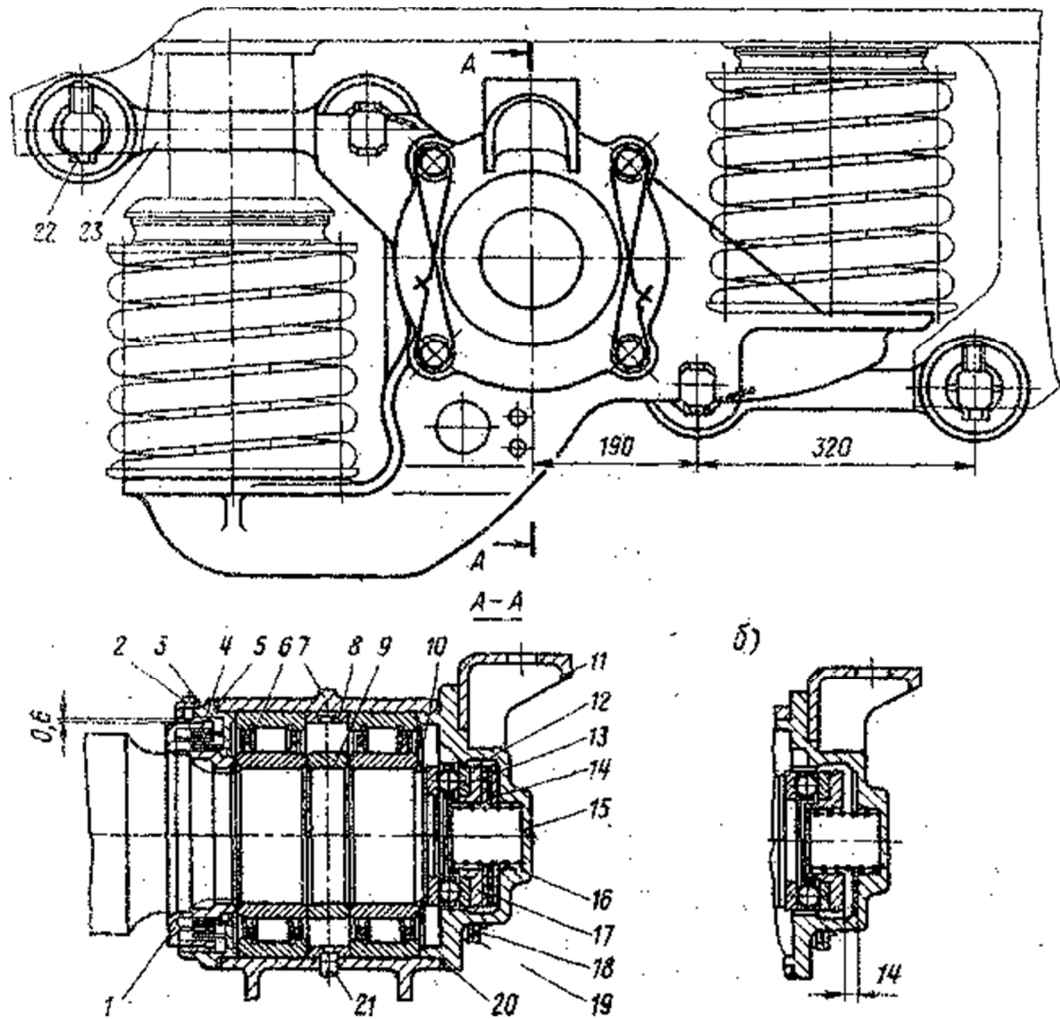


Рисунок 1.1 – Буксовий вузол:

а – крайньої колісної пари; б – осьовий упор середньої колісної пари; 1 – лабіринтове кільце; 2 – стопорний болт; 3 – шайба; 4 – задня кришка; 5, 20 – шовкові шнури; 6 – роликопідшипник; 7 – корпус букси; 8, 9 – дистанційні кільця; 10, 12 – стопорні кільця; 11 – кронштейн; 13 – завзятий підшипник; 14 – амортизатор; 15 – передня кришка; 16 – пружина; 17 – упор; 18 – контровочний дріт; 19, 22 – болти; 21 – конічна пробка; 23 – повідець

У корпусі букси 7 у просторі між задньою кришкою 4 і передньою 15 розміщений блок із двох роликів підшипників 30-32532 Л1М (160Х290Х Х80 мм) з дистанційними кільцями 5 і 9 між ними. Для підвищення терміну служби підшипники встановлюють в одному буксовому вузлі з різницею радіальних зазорів не більш 0,03 мм. Крім того, стеля корпусу букси виконано у виді зводу перемінного перетину збільшеної товщини у верхній частині, що дає не тільки більш

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

11

рівномірний розподіл навантаження між роликами, але і збільшення числа роликів, що знаходяться в робочій зоні.

На передпідступічну частину осі до упору в галтель надягають з натягом лабіринтове кільце 1. Температура нагрівання кільця 120–150°C. Лабіринтове кільце утворює із задньою кришкою 4 чотирьохкамерне лабіринтове ущільнення букси. Внутрішні кільця підшипників мають натяг 0,035–0,065 мм і насаджуються на шийку осі разом з дистанційним кільцем 9, нагрітим в індустріальному мастилі до температури 100–120 °С.

Для запобігання сповзання із шийки осі внутрішніх кілець роликотопідшипників у випадку ослаблення їхньої посадки на осі встановлене стопорне кільце 10.

У передній кришці 15 монтується осьовий упор кочення одnobічної дії через зав'язаний шарикотопідшипник 8320 (100X170x55 мм), одне кільце якого встановлене на торцевій проточці осі, а інше – на упорі 17 з натягом 0,003–0,016 мм. Для запобігання розкриття зав'язаного підшипника він постійно через упор 17 пружиною 16 притискається з зусиллям близько 2 кН до торця осі колісної пари. Осьовий упор утримується в кришці 15 (при її знятті) стопорним кільцем 12. Між упором і кришкою встановлений амортизатор 14, що представляє собою дві металеві пластини товщиною 2 мм із привулканізованим до них гумовим елементом. У буксах середніх колісних пар амортизатор не ставиться, забезпечуючи тим самим вільний осьовий розбіг ± 14 мм (дорівнює товщині амортизатора) цих колісних пар у буксах. На передній кришці приварений кронштейн 11 для приєднання гасителя коливань.

Для того щоб відрізнити букси крайніх колісних пар від букс середніх колісних пар, на кришках букс наносяться знаки «КР» для крайніх і «СР» для середніх. На задній кришці встановлений стопорний болт 2, що запобігає сповзання букси із шийки осі при знятті з тепловоза колісної пари.

Змащення буксового вузла єдина консистентна. При зборці в букси закладають змащення ЖРО ТУ 32ЦТ 520-83 у лабіринтове ущільнення задньої кришки, підшипники й осьовий упор передньої кришки в кількості 2,5 кг. Дозаправлення змащення в буксовий вузол у процесі експлуатації виробляються запресовуванням через отвір з конічною пробкою 21, розташоване в нижній частині корпусу букси .

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.2 Характеристика існуючих методів відновлення зношених деталей рухомого складу

Існує багато способів відновлення деталей, основні з яких такі [8–10]: наплавлення; приварка металевого шару; газотермічне напилювання покриттів; нанесення покриттів гальванічними способами; застосування полімерних матеріалів і металополімерних композицій; електрофізичні й електрохімічні методи відновлення деталей; відновлення деталей пластичним деформуванням та ін. Проте, згідно з правилами ремонту тепловозів [9–10], у практиці ремонтних виробництв залізничного транспорту найбільше застосування знайшли три, вже випробувані у ремонті, способи: наплавлення, газотермічне напилювання і електролітичне нанесення відновлювального шару. Кожний із указаних методів займає своє місце в ремонтному виробництві і, що особливо важливо підкреслити, не є єдиним, універсальним методом, являючись у рівній мірі ефективним при відновленні і зміцненні деталей із різноманітних матеріалів при їх різних конструктивних виконаннях. Будь-яка з зазначених технологій відновлення має певні переваги і недоліки; розглянемо їх коротко.

Наплавленням відновлюють досить широкий спектр деталей рухомого складу. Приблизно 4–5 років тому на Україні почалося освоєння, у невеликій кількості, відновлення корпусів букс колісних пар тепловозів ЧМЭЗ наплавленням; воно здійснюється в Пологівському локомотиво-ремонтному депо та в локомотивному депо Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.

Відома спроба відновлення зношених корпусів букс вантажних вагонів [7]. Проте за запропонованою технологією відновлюють лише геометрію зношених поверхонь корпусу букси, що спрягаються при експлуатації з поверхнями буксового прорізу бокової рами. При цьому внутрішня поверхня корпусу букси не відновлюється.

Перевагами процесу наплавлення є високий ступінь сили зчеплення та можлива велика товщина шару, що наноситься. До недоліків відноситься термічний вплив на деталь, що, по-перше, призводить до структурних змін наплавляємої поверхні, а, по-друге, сприяє розвитку макро- і мікротріщини. Внаслідок зміни фізико-

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

хімічного складу відновленої поверхні змінюються і механічні властивості деталі. Також через високотемпературний режим процесу неможливо відновлювати тонкостінні деталі, оскільки це може призвести до її деформації. Крім того, наплавленню притаманні невисока продуктивність, низький рівень механізації і великі витрати як на операціях нарощування, так і на фінішній механічній обробці поверхні відновленої деталі, оскільки основна частина деталей локомотивів має невеликі зноси, а мінімальна товщина наплавленого шару складає 2–3 мм [7]. При наступних операціях розточуванні і шліфуванні наплавленої поверхні втрачається до 30–40 % наплавленого металу. Крім того, нанесений наплавленням шар заліза нестабільний як за структурою, так і за фізико-механічними властивостями. Нарешті, ця технологія потребує спеціального устаткування, дефіцитних матеріалів, а також високої кваліфікації зварника, що, у кінцевому результаті, відбивається на собівартості ремонту деталі.

Газотермічне напилювання ділиться на електродугове, газопламеневе, плазміне і детонаційне [7-10]. Всі види газотермічного напилювання покриттів полягають в тому, що в спеціальному апараті тими або іншими способами проводиться розплавлення з наступним розпилюванням матеріалу за допомогою потоку повітря, плазми або енергії газового вибуху на попередньо підготовлену поверхню деталі, що відновлюється. Даний метод застосовується для відновлення і зміцнення, як правило, для поверхонь: гільз, чопів, цапф та ін.

Ефективними способами відновлення і підвищення зносостійкості деталей являються електролітичні методи нанесення металопокриттів, що дозволяються і регламентуються правилами та інструкціями по ремонту локомотивів і моторвагонного рухомого складу залізниць [8, 10]. За допомогою різноманітних гальванічних покриттів в умовах ремонтного виробництва вирішується ряд важливих задач: відновлення натягу в нерухомих і номінального зазору в рухомих з'єднаннях; зміцнення робочих поверхонь деталей, що відновлюються; одержання приробчого шару на робочій поверхні; захист деталей, що відновлюються, від корозії; осадження захисно-декоративного шару. Для цього, в основному, використовуються процеси хромування, залізнення, нікелювання, цинкування, міднення, луження.

					<i>0032.180138.000.02MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

У якості відновлюючої технології частіше застосовується електролітичне нанесення шару заліза або хрому, але перевагу надають залізному покриттю [7].

Для відновлення внутрішньої поверхні корпусів букс в цій роботі зроблено вибір на користь залізнення (осталювання), оскільки цей процес має ряд переваг перед хромуванням, основними з яких являються [7]: більш висока, у 10–20 разів, швидкість осадження металу; більш рівномірний розподіл осаду; товщина покриття електролітичного заліза може досягати 2,0–5,0 мм, у той час, як при хромуванні - не більш 0,3 мм; більш високе зчеплення з основою (деталлю); витрати електроенергії на осадження заліза в 12–15 разів менше; електроліти залізнення значно простіші у виготовленні й експлуатації, дешевші і менш токсичні; існують практичні можливості зміни властивостей осаду заліза по товщині і його хромування, а також термічного відпалу.

Тверді залізні покриття при роботі в рухомих з'єднаннях по зносостійкості відповідають середньовуглецевій сталі, що і стало однією з причин появи терміну «осталювання». Незважаючи на те, що залізні покриття по твердості поступаються хромовим, зносостійкість залізних деталей у багатьох випадках виявляється більшою, ніж у хромованих. Більш того, зниження втомної міцності залізних деталей у ряді випадків менше, ніж у хромованих [7].

До переваг електролітичного методу в порівнянні з наплавленням і напилюванням варто віднести: більш високу міцність зчеплення; зниження собівартості ремонту за рахунок одночасного відновлення великої кількості деталей; можливість регулювання фізико-механічних властивостей покриттів шляхом простої оперативної зміни електричного режиму осадження, тобто можливість автоматизації; мінімальні витрати на фінішну обробку; можливість відновлювати тонкостінні деталі і деталі складної конфігурації, а також внутрішні поверхні циліндрів; осталювання можна застосовувати для деталей із чавунна, алюмінію і його сплавів, міді і її сплавів. Крім того, гальванічна технологія відновлення відрізняється простотою і являється ресурсозберігаючою, оскільки хлоридний електроліт залізнення можна готувати з відходів виробництва – стружки маловуглецевих сталей, а розчинні аноди застосовують також із маловуглецевих сталей Ст 3...Ст 20.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Недоліками електролітичного залізнення є: необхідність чіткого дотримання технології і проблеми екологічного характеру (витрати води, очищення стічних вод і т.ін.). Проте до цього варто додати, що, по-перше, розроблені і зараз застосовуються процеси осталювання, які цілком нешкідливі для навколишнього середовища [8]. По-друге, у даний час усі гальванічні процеси розробляються з обов'язковим застосуванням системи оборотного водопостачання, що дозволяє різко знизити витрату води і запобігти викидам шкідливих хімікатів у стічні води.

Таким чином, кожна з розглянутих вище трьох основних ремонтних відновлюючих технологій має свої переваги і недоліки. І тому жодна з них не може (і не повинна) претендувати на свою універсальність по однаковій ефективності її використання для різноманітної номенклатури відновлювальних деталей (їхньої форми, матеріалу), видів трибоз'єднань, умов ремонту та ін. В кожному конкретному випадку потрібен вибір і розвиток найбільш доцільної технології. У зв'язку з цим, і, з огляду на викладені вище переваги методу електролітичного залізнення, ця технологія розвивається і використовується в даній роботі як перспективний спосіб відновлення деталей рухомого складу .

1.3 Особливості технології ремонту деталей електролітичним залізненням

Залізнення як метод відновлення зношених деталей відомий давно. Номенклатура деталей, що відновлюються електролітичним залізом, також дуже широка. Методи і підходи дослідників для вирішення поставлених задач по удосконаленню і розвитку нових напрямків електролітичного нанесення покриттів різноманітні і викликають науково-практичний інтерес; розглянемо їх коротко.

В роботі [7] запропоновано технологію відновлення зношених деталей сільгоспмашин залізненням на періодичному струмі. При цьому використовувався хлористий електроліт із концентрацією 400 г/л, рН $0,75 \pm 0,05$ і температурою $t=40 \pm 2$ °С. Для проточних умов пропонується введення солянокислого гідразину, що знижує окислювання електроліту. Основна увага в цій роботі приділяється розробці джерел періодичного струму з зворотним регульованим по амплітуді і тривалості імпульсом, що забезпечують інтенсифікацію процесу. Швидкість

					<i>0032.180138.000.02MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

прямування розчину рекомендується при залізненні внутрішніх поверхонь не більш 0,5 м/с, зовнішніх – 1,25–1,5 м/с; анодно-катодна відстань при проточному електролізі в обох випадках $0,015 \pm 0,002$ м. У відновлених чавунних колінвалів (ГАЗ-53) границя витривалості склала 78,4 МПа, що трохи нижче, ніж у нових – 83,3 МПа. Відновлювані деталі: шатуни, поршневі пальці автомобільних і тракторних двигунів (ЯМЗ-238НБ, ГАЗ-51, СМД-14, ГАЗ-53, ЗИЛ-130), шворні автомобілів (ГАЗ-51, ЗИЛ-130), блоки автомобілів ГАЗ-52 та ін.

Дослідження і розробка технології відновлення також автотракторних деталей залізненням із застосуванням трифазного двохнапівперіодного асиметричного струму викладено в [7]. Використовувані електроліти – сульфатно-хлористий і сульфатний. Густина струму в позитивний напівперіод досягає 60–80 А/дм², при цьому мікротвердість відновлених деталей тракторів і автомобілів складає 3000–9000 МПа. Для високоміцного чавуну ВЧ50-2 границя витривалості σ_1 склала 202 МПа. Знос залізнених деталей менше зносу серійних і відновлених наплавленням у 1,15 - 1,5 рази. Отримана товщина покриттів – до 1,5 мм на сторону.

Питання розробки нових технологічних процесів, що забезпечують інтенсифікацію осадження і підвищення працездатності автотракторних деталей із використанням резонансних явищ, викладено в [8]. В процесі досліджень використовувався нерухомий хлоридний електроліт залізнення і стандартний хромовий розчин. За рахунок резонансних явищ інтенсифікація процесу підвищується в 1,7–1,8 рази. Зносостійкість підвищується в 1,6–1,8 рази. Відновлювані деталі: шворні автомобілів ГАЗ-52, ЗИЛ-130.

Розробка технології відновлення деталей машин залізненням із наступним електрохіміко-термічним зміцненням здійснена в роботі [8]. В даних дослідженнях застосовували сірчаноокислий і хлоридний електроліти.

Електролітно-плазмене наповнення покриття вуглецем тривалістю 3 - 5 хвилин здійснювали на катоді в електроліті: етиленгліколь з NaCl (до насичення). Товщина нанесеного шару – до 0,3–0,5 мм, мікротвердість – до 8000–9500 МПа. Зносостійкість для Сталі 45 у 2 рази вище, ніж у нових; границя витривалості вище на 10–15 %.

					<i>0032.180138.000.02MP.ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Ряд робіт присвячено розробці технологій по відновленню деталей композиційними електрохімічними покриттями (КЕП). Так, у [7] пропонується відновлювати циліндри двигунів внутрішнього згорання КЕП на основі аналізу проточним електролізом. За основу взятий хлоридний електроліт із введенням у нього мікропорошків окису алюмінію (ЕБ-99 М7), карбіду бора і карбіду кремнію розміром від 1 до 100 мкм. Швидкість потоку електроліту-суспензії (ЕС) складала до 1 м/с. Максимальний вміст часток дисперсної (фази в КЕП спостерігається при швидкості 0,05–0,25 м/с. Встановлено, що для даного пронесу найбільш кращі результати (підвищена жаростійкість, велика стійкість до окислювання) отримано при напрямку руху електроліту-суспензії зверху вниз. Зносостійкість у 3 рази вище; відновлювальні деталі: чавунні циліндри двигуна СМД-14.

В роботі [7] представлено режими відновлення деталей також сільськогосподарської техніки зносостійкими покриттями з електролітів-суспензій. Вказується що застосування КЕП з електролітів-суспензій на основі заліза, його сплавів і хрому дозволить у багатьох випадках замінити дефіцитні леговані сталі і чавуні.

Застосування залізонікелевих покриттів розглянуто в [40]. Особливістю роботи являється введення в базовий електроліт ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - 450 - 500 г/л, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 40 г/л, $\text{Na}_2 \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 2 г/л), гідроксиламіну концентрацією 0,3... 0,5 г/л. і капролактаму концентрацією від 1 до 20 г/л. Режим і умови осадження – стаціонарні. За твердженням автора, покриття стає самозмащуючим. Отримана мікротвердість нижче на 5–7 %, ніж у тих же деталей без капролактаму, швидкість зношування залізонікелевих покриттів із капролактамом у 1,7–1,9 рази нижче, ніж у тих же покриттів без нього. Відновлювальні деталі: шкворні автогрейдера ДЗ-99, блоки компресорів автобусів «Ікарус».

Одним із перспективних напрямків гальванотехніки являється гальваномеханічне залізнення [8]. Інтенсифікація процесу відбувається за рахунок механічного активування поверхні катода. Режим електролізу: густина струму $J_k=100\text{--}300 \text{ А/дм}^2$; $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; рН 0,8–1,0; швидкість потоку електроліту – 1 м/с. Мікротвердість осадів досягала 7200 МПа. Зносостійкість у 1,4 рази вище, ніж покриття

						0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			18

заліза, отриманого в стаціонарному режимі. Відновленню підлягали дзеркала циліндрів двигунів внутрішнього згоряння.

Загальні питання по технологічному забезпеченню оптимальних експлуатаційних характеристик відновлювальних автотракторних деталей електролітичним залізом розглянуто в [10]. У дослідженнях використано хлоридний висококонцентрований (500-550 г/л) електроліт з рН 0,5–0,8; $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $J_k = 20\text{--}25\text{ А/дм}^2$ і залізонікелевий електроліт. Джерела живлення: постійного струму і резонансний. Встановлено, що спочатку, зі збільшенням тиску знос покриттів зменшувався, а потім зростає. Такий характер зношування пояснюється здатністю покриттів до зміцнення. Найбільша зносостійкість спостерігалася в осадах із $H_{\mu} = 6250\text{--}6750$ МПа, оскільки на поверхні тертя цих покриттів утворювався мікрорельєф, що забезпечує накопичення мастильного матеріалу, завдяки якому зберігався низький коефіцієнт тертя. Рекомендована катодна густина струму $J_k = 40\text{ А/дм}$. Максимальна мікротвердість складала 7500 МПа. Встановлено, що проводити термообробку покриттів недоцільно. Відновлювальні деталі: гільзи двигуна автомобілів «Камаз-740», ГАЗ-51, СМД-14.

Можливість одержання електролітичних покриттів заліза або сплаву залізо-кобальт, які по жаростійкості і мікротвердості не поступаються електролітичній міді, досліджено в [7]. Вивчено жаростійкість електролітичних заліза і сплаву залізо-кобальт, отриманих при густині струму 5, 10, 15, 20 А/дм², температурі 90°C і рН розчину 2–2,2. Встановлено, що покриття сплаву залізо-кобальт, що містять від 2,26 до 5,99 % кобальту, мають більш високу жаростійкість при температурі до 600°C у порівнянні з міддю. При більш високих температурах такою властивістю володіє сплав залізо-кобальт, що містить 54,18 % кобальту в покритті.

Вирішенню проблем підвищення зносостійкості й втомної міцності деталей, особливо важконавантажених, відновлених залізненням і хромуванням, присвячені дослідження [7, 8]. Показано, що при гальванічних способах залізнення дзеркал циліндрів двигунів Д-240, Д-144 (сільгосптракторів) їхній ресурс у порівнянні із серійними збільшуються в 3,8–4 рази.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

В роботі [7] викладено результати досліджень по особливостях одержання й основних властивостей функціональних сплавів на основі заліза: залізо-нікель, залізо-хром.

Проблема відновлення корпусів букс колісних пар гальванічним методом вперше поставлена в восьмидесятих роках. Тоді пропонувалося два методи нанесення відновлювальних композиційних залізних покриттів: стаціонарний із зануренням корпуса букси в гальванічну ванну і проточний, при якому герметична гальванічна комірка складалась з двох корпусів букс із прокачуванням через неї електроліту. Проте, по-перше, пропонувалося відновлювати корпуси букс колісних пар вагонів, по-друге, покриття, що наносяться – композиційні, які складаються з металу матриці і впроваджених у її дрібнодисперсних часток корунду (2–4 %) із розміром зерна до 7 мкм. Нарешті, електроліт – гарячий хлоридний, а струм – постійний, густиною 20 А/дм².

Тими ж авторами були визначені оптимальні режими і подані рекомендації по відновленню силумінових постілей корінних підшипників картерів тепловозних дизелів проточним залізненням [10]. У якості електролітів застосовувався концентрований однокомпонентний хлоридний електроліт із концентрацією солі заліза 600 г/л. Залізнення в обох випадках проводилося при температурі електроліта 40–50 °С на постійному струмі з густиною 20–30 А/дм². Для даного процесу була встановлена оптимальна швидкість потоку електроліту, рівна 0,38–0,42 м/с.

Наведений вище аналіз робіт по залізненню показує таке. По-перше, існуючі технології осталування розроблено для відновлення деталей автомобілів і сільськогосподарської техніки, і тому автоматично вони не можуть бути перенесені на деталі залізничного транспорту через специфіку їхньої форми, базового матеріалу та умов роботи. По-друге, використовувались частіше всього гарячі електроліти, а також різноманітні електричні режими. Запропоновані джерела живлення складні як у виготовленні, так і в експлуатації, оскільки використовувались складні для аналізу форми струму. А для запропонованої технології з резонансним джерелом живлення необхідно ще і підключення двох груп акумуляторних батарей типу ЕСГ-195 ЕМ і послідовно в коло коливального контуру у вигляді об'ємного резонатора.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

У запропонованій технології електрохіміко-термічного зміцнення залізних покриттів [10] є обмеження: для вуглеазотування з нагріванням СВЧ покриття повинні бути з розміром блоків мозаїки більше 38 нм, а для електролітно-плазменого наповнення вуглецем – більше 50 нм. У виробничих умовах визначення розмірів блоків мозаїки дуже складне і малоімовірне. Деталі повинні мати нескладну поверхню і площу для зміцнення не більш, ніж 0,002 м².

Заміна залізних покриттів на залізонікелеві не завжди доцільна, оскільки це ускладнює приготування електроліту і припускає застосування дефіцитного в Україні і дорогого нікелю. Крім того, із літературних джерел відомо, що залізонікелеві покриття далеко не завжди витримують жорсткі навантаження в парах тертя, особливо в початковий період роботи.

Технологія гальваномеханічного залізнення перспективна, але також має недоліки: вона складна у виконанні і виробничій реалізації. Робоча густина струму висока, що потребує створення дуже потужного джерела. Складність являє також вибір активуючого інструменту: для даної технології можливе застосування лише алмазних брусків на еластичних зв'язках.

Застосування композиційних електрохімічних покриттів з електролітів-суспензій у ряді випадків неможливо або недоцільно. По-перше, такі електроліти більш складні в приготуванні, високої вартості, а також мають ряд вимог, що значно ускладнюють технологічний процес. По-друге, відомо, що внесені частки являються концентраторами напружень і можуть бути джерелами появи тріщин. І, нарешті, для одержання якісного покриття необхідно створити спеціальні умови перемішування часток, що знижує надійність технологічного процесу відновлення деталей.

Проточний електроліз перспективний, але публікації по цьому питанню одиничні, причому застосовують цей спосіб у сполученні з композиційними електрохімічними покриттями, оскільки останні потребують активного перемішування в процесі електролізу. Результати використання цієї технології що опубліковані, суперечливі. Очевидно, це відбувається через недостатні теоретичні й експериментальні дослідження. Відзначимо також, що в деяких випадках протоки електроліту

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

може створюватися й у стаціонарній ванні; у запропонованої нами технології відновлення корпусів букс мова йде про проточне позаванне залізнення.

Висновки до розділу.

З наведеного вище аналізу стає очевидним таке:

– буксовий вузол колісних пар тепловозів 2ТЭ116, являючись найважливішою ланкою, яка забезпечує безпеку руху тепловоза, залишився без уваги спеціалістів - ремонтників, що займаються надійністю рухомого складу, оскільки: відсутні статистичні й експериментальні дані по зносу і тим самим про поступові відмови деталей, у тому числі і корпусу буксового вузла; невідомий існуючий рівень надійності роботи базових матеріалів корпусу букси за критерієм зносу; відсутня аргументована технологія відновлення;

– розробка технологій відновлення корпусів букс, що зношуються, знаходиться лише на початковій стадії. Метод наплавлення, у силу своїх недоліків, не може бути єдиною, базовою відновлювальною технологією;

– в літературних публікаціях відсутній чисельний порівняльний аналіз основних технологій відновлення – наплавлення, напилювання і електролітичного нанесення – по основній експлуатаційній властивості відновлювальних шарів, а саме зносостійкості;

– метод електролітичного осадження відновлювального шару до теперішнього часу застосовувався, в основному, по-перше, для ремонту деталей автомобілів і сільськогосподарської техніки і, по-друге, як ванний спосіб у гарячому хлоридному електроліті на постійному струмі, тому не може бути автоматично перенесений на ремонт корпусів букс, з огляду на особливість їхньої форми, матеріалу і вимог до відновлення.

– технологія позаванного проточного електролітичного нанесення шару заліза є перспективною, проте вона потребує детальної розробки до кожної деталі і тому публікації по цьому питанню одиничні.

У зв'язку з вищевикладеним, для досягнення сформульованої вище мети, у даній магістерській роботі передбачається вирішити такі задачі:

– встановити кількісні імовірно-статистичні закономірності зносу

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

корпусів букс тепловозів 2ТЭ116;

– розробити математичну модель і методику більш високої надійності технологічного процесу відновлення зношених деталей електролітичним методом;

– чисельно оцінити надійність технології позаванного відновлення зношених корпусів букс тепловозів нанесенням шарів гальванічного залізнення;

– виконати порівняльні прискорені й експлуатаційні випробування на зносостійкість корпусів букс нових і відновлених різними методами;

– розробити математичну модель формування поступової відмови за критерієм зносу;

– оцінити і порівняти показники параметричної надійності корпусів букс відновлених різними способами;

– виконати прогнозування параметрів надійності роботи корпусів букс, відновлених різними технологіями;

– оцінити працездатність відновлених корпусів букс за критерієм витривалості.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 МЕТОДИКИ ТА ПРИЛАДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Умови нанесення відновлювальних шарів заліза

Нанесення відновлювальних шарів заліза методом наплавлення і газотермічного напилення здійснював в умовах ВАТ «Запорізький електровозоремонтний завод», Дніпропетровського тепловозоремонтного заводу.

Експериментальні дослідження по розробці гальванічних технологій відновлення виконували як в лабораторних, так і в промислових умовах. В лабораторних умовах електроосадження шарів відновлювального металу проводили позаванним способом на спеціальній лабораторній установці (рис. 2.1), що складається: з ємкостей – бачків 1, 2 для електrolітів, насоса 3, гнучких полівінілхлоридних (ПВХ) шлангів 4, вентилів 5, 6, електролітичної комірки (ванночки) 7 та джерела електроенергії 8.

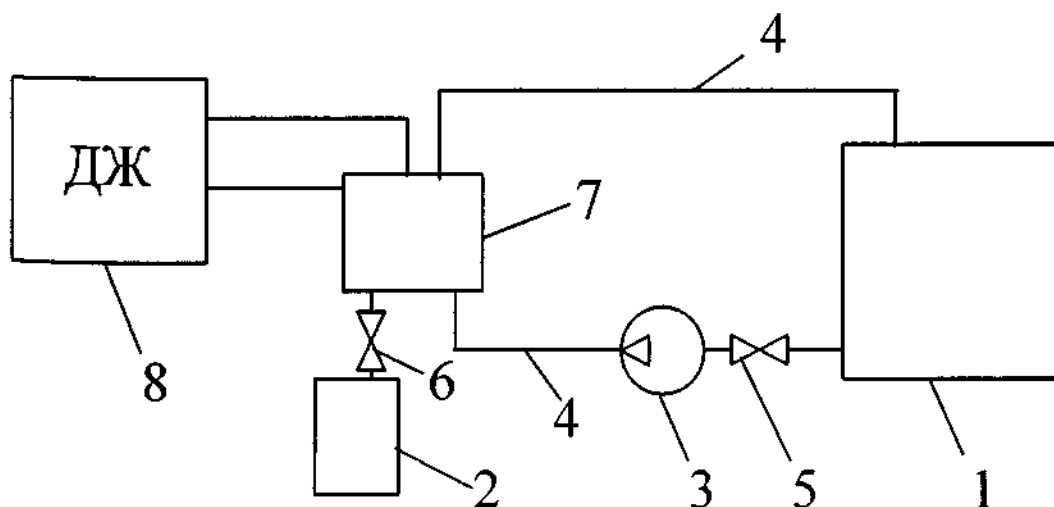


Рисунок 2.1 – Лабораторна установка позаванного гальванічного залізнення

свою чергу, – на сегменти (колодки) з центральним кутом $\varphi = 46^\circ$, які і служили зразками при випробуванні.

Для випробувань на міцність зчеплення, механічну міцність і границю втоми у якості зразків катоду використовували відповідної форми стрижень, виконаний із сталі 25Л, а анодом служив пустотілий циліндр із сталі Ст3. При цьому умови і режими електролізу були однаковими для усіх видів зразків. Експерименти проводили з максимальним наближенням до умов виробництва.

Випробування мікротвердості і рентгеноструктурний аналіз нанесених відновлювальних покриттів здійснював на зразках у вигляді пластин прямокутної форми розмірами $30 \times 15 \times 1$ мм, розташованих у кількості 10 штук рівномірно по усьому колу комірці (рис. 2.3). У схемі рис. 2.3 пустотілий циліндр і пластини утворюють катод.

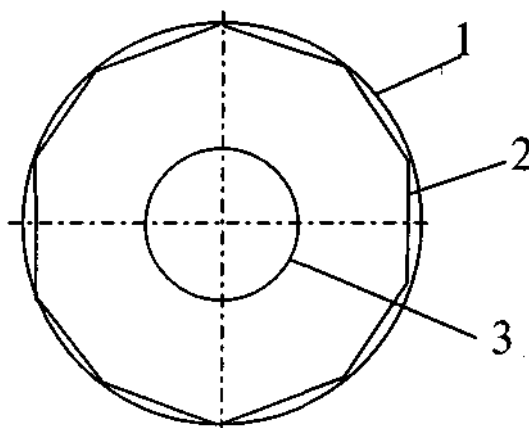


Рисунок 2.3 – Розташування контрольних випробувальних зразків в електролітичній комірці (вид зверху):

1 – пустотілий циліндр; 2 – пластини; 3 – анод.

Гальванічне осадження відновлювальних залізних шарів здійснювали на розробленій в цій роботі промисловій установці.

Процес електроосадження заліза, як в лабораторних, так і в промислових умовах здійснювали в найбільш перспективному холодному електроліті, який

містить водний розчин FeCl_2 (200–600 г/л) і соляну кислоту (0,6–1,2 г/л); основні операції технологічного процесу осадження заліза зображено на рис. 2.4.

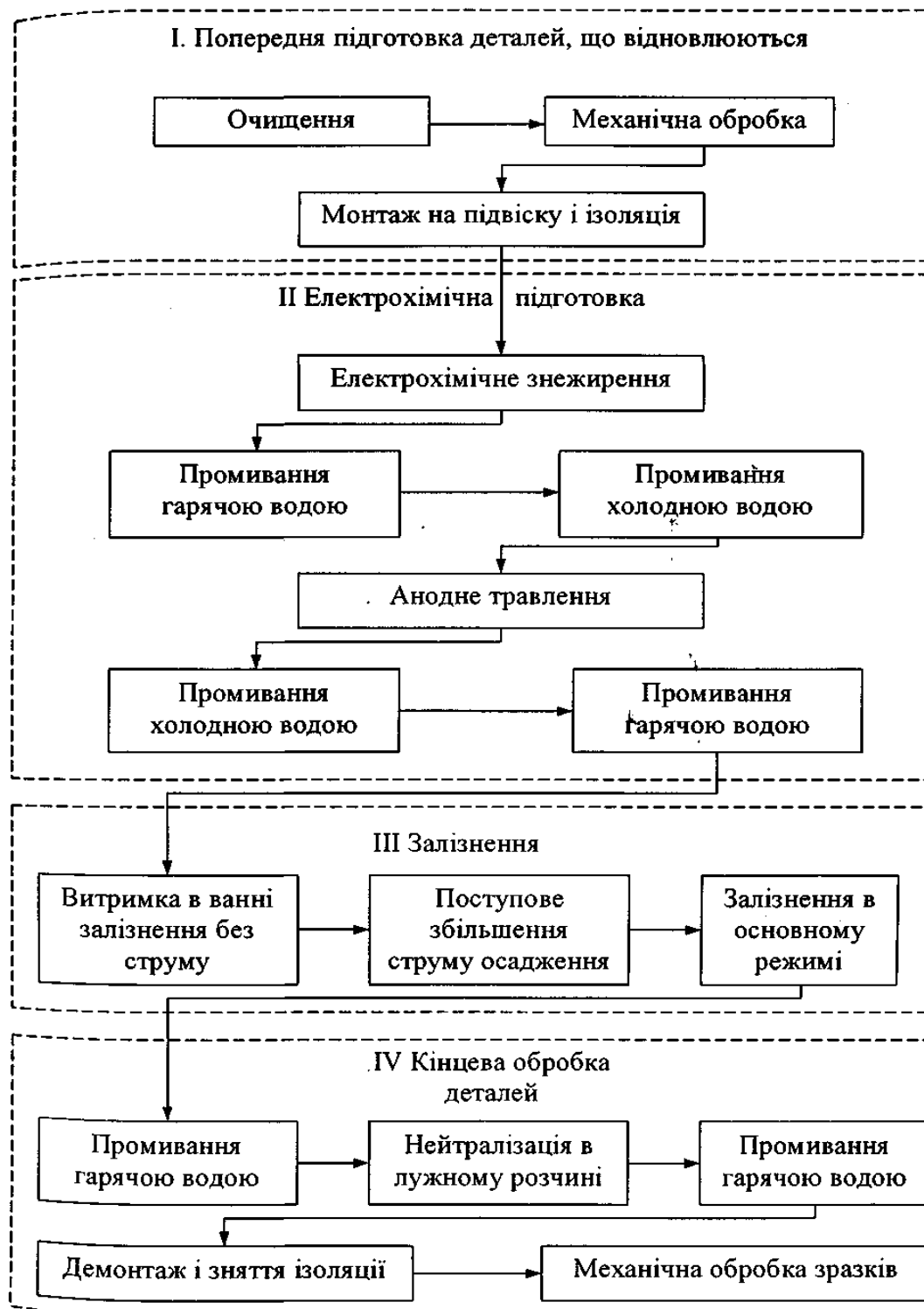


Рисунок 2.4 – Основні операції технологічного процесу електролітичного осадження відновлювальних шарів заліза

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

27

Кислотність електролітів визначав рН-метром типу рН-673, а питому електропровідність – кондуктором, що побудований за схемою мосту Уінстона.

При залізненні застосовував розчинні аноди з низьковуглецевої сталі, анодами були плоскі або пруткові зразки діаметром 0,01–0,04 м. З метою зменшення забруднення електроліту анодним шламом аноди розташовували в захисних чохлах з кислотостійкої тканини «хлорин». При цьому, як відомо, співвідношення між площинами аноду і катоду ($S_a : S_k$) повинно бути 1–2, що важко витримати внаслідок, по-перше, великої S_k , а, по-друге, поступового зменшення S_a . Тому практика свідчить, що діаметр анода повинен складати 1/3 – 2/3 внутрішнього діаметру корпусу; аноди меншого діаметру будуть порушувати якість осадів заліза.

Джерелом живлення комірки служив напівпровідниковий перетворювач. Це джерело дає можливість осадження заліза на постійному, асиметричному (рис. 2.5 а) і комбінованому (рис. 2.5 б) струмах.

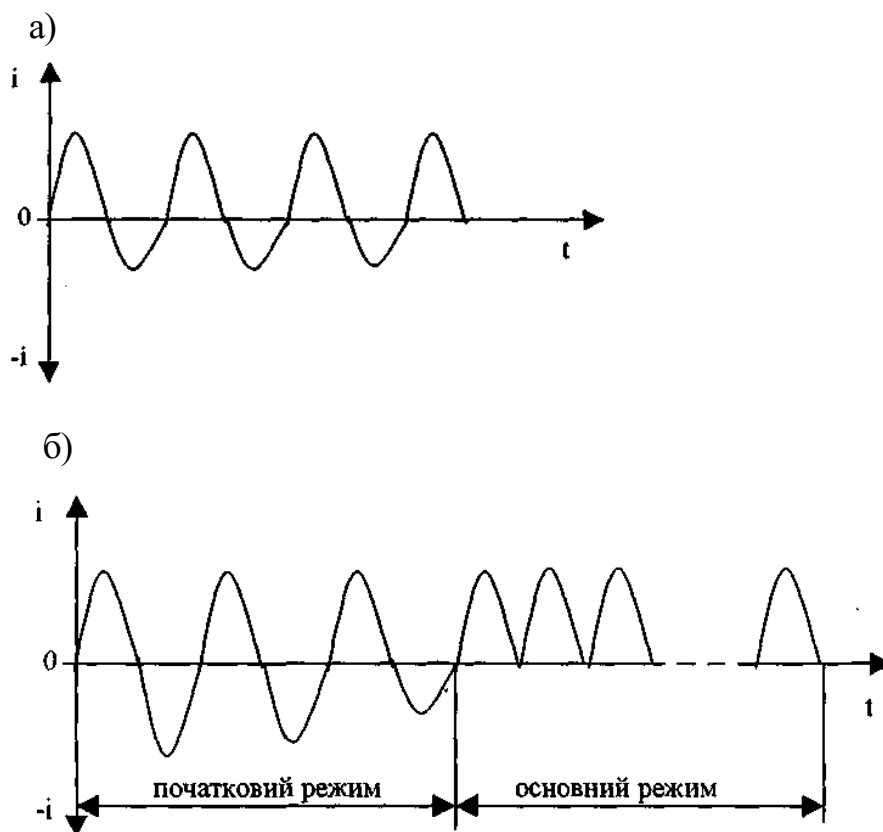


Рисунок 2.5 – Електричні режими осадження заліза:

а) асиметричний; б) комбінований.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

28

Комбінований режим реалізовано у вигляді: початковий період ведеться на асиметричному струмі, основний період – на постійному.

Існують різноманітні методи випробувань для визначення границі витривалості. Найбільш простим способом деформування являється знакозмінний вигин.

При визначенні значень границі міцності стандартний зразок (рис.2.6), виготовлений із сталі 25Л, попередньо проточували в середній частині (довжина проточки - 20 мм) на 0,5 мм на токарському верстаті, уникаючи перегріву зразка. Останній розміщували усередину циліндра, де він у даному випадку був катодом.

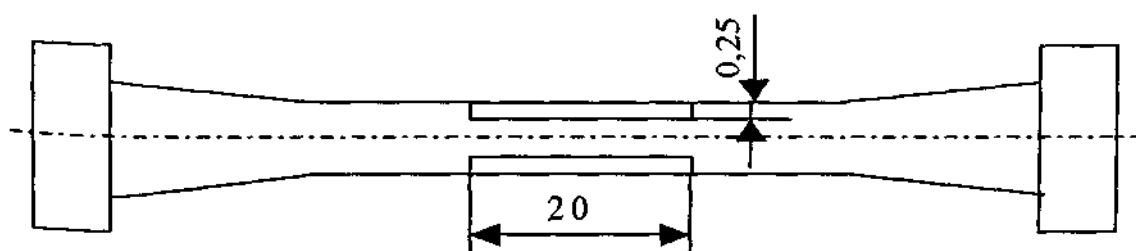


Рисунок 2.6 – Зразок для випробувань на розтяг

Випробування проводили на машині УГ 20/2. Отримані дані порівнював з результатами випробувань зразків, що не піддавалися проточуванню з наступним відновленням.

2.2 Методи досліджень товщини та механічних властивостей шару

Розмір приросту ваги зразків визначав як різницю двох показань маси зразка: до та після осадження. Для цього використовував аналітичні терези типу АДВ - 200. Зважування проводили в грамах з точністю до четвертого знаку після коми. Перед зважуванням зразки промивали в гарячій, а потім у холодній воді та сушили в шафі з температурою $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ на протязі 30–40 хвилин.

Мікротвердість H_{μ} відновлювальних осадів визначали на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні на індентор 1 мПа та десятиразовому повторенні вимірів по діагоналі зразка. Значення H_m в чисельнику і в знаменнику значення H_{μ} відповідно без, і з врахуванням шліфування покриття.

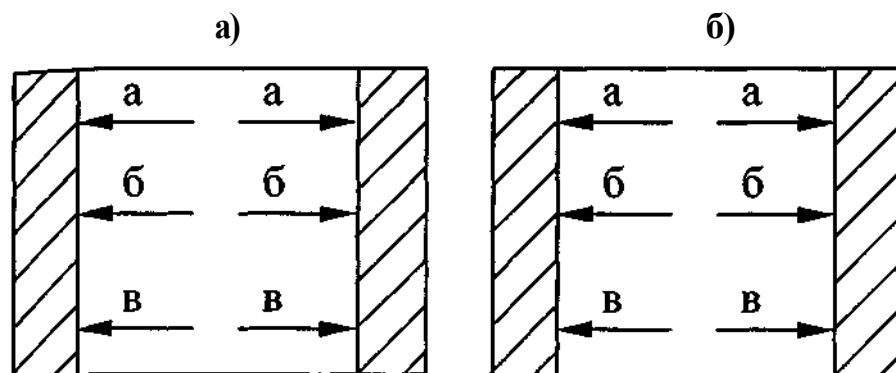


Рисунок 2.7 – Положення випробувального зразка при приведенні вимірювання:
а) початкове; б) повернене на 90°.

Дослідження морфології залізних покриттів здійснював на металографічному мікроскопі «TRIQUANT». Параметри тонкої структури та внутрішні напруження осадів оцінювали за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-УМ-1.

2.3 Умови та методи досліджень міцності зчеплення та зносостійкості відновлювальних шарів

Міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ шару, що наносився, з поверхнею основного металу оцінювали за напруженнями зсуву [7]. Для цього на осадженій поверхні зразка проводили нарізку трьох кілець шириною 2,5–3 мм (рис.2.8, а). Глибина канавок між кільцями складала 3–4 мм. Нарізку кілець проводили відрізним кругом 14A40НСТЗБ 2кл ГОСТ 21963 - 82. Глибина подачі вибиралась такою, щоб зразки не перегрівались (відсутність кольорів змінності).

На рис. 2.8 показані елементи точно підігнаної плунжерної пари: проміжок між боковою поверхнею плунжера та обойми складає 0,001–0,0001 мм. На нижню частину плунжера покриття не осаджували (під час досліду на неї одягалась втулка з кислотостійкої гуми).

діаметр зменшували на 0,1 мм. Для цього плунжер завішували у ванну з водним розчином сульфату амонію концентрацією (100 г/л) та сірчаної кислоти (50 г/л) і піддавали анодному травленню на протязі 20 хвилин при густині струму 5–10 А/дм². В процесі зняття показань приладів при роботі на пресі використовували манометр класу точності 0,2. Значення міцності зчеплення $\sigma_{зч}$ для кожного зразка визначали як середнє за трьома замірами, розподіленими по довжині зразка.

Прискорені випробування на зносостійкість проводили на зразках-сегментах (колодочках), виготовлення яких описано в підрозділі 2.1 із циліндра рис. 2.9. Випробування проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск (ролик) – колодочка». В якості контртіла служив ролик (диск) із зовнішнім діаметром, рівним 50 мм, що мав твердість і чистоту поверхні, близькі зовнішньому кільцю підшипника, який виконаний зі сталі ШХ 15. До третьових поверхонь періодично подавалося мастило ЖРО.

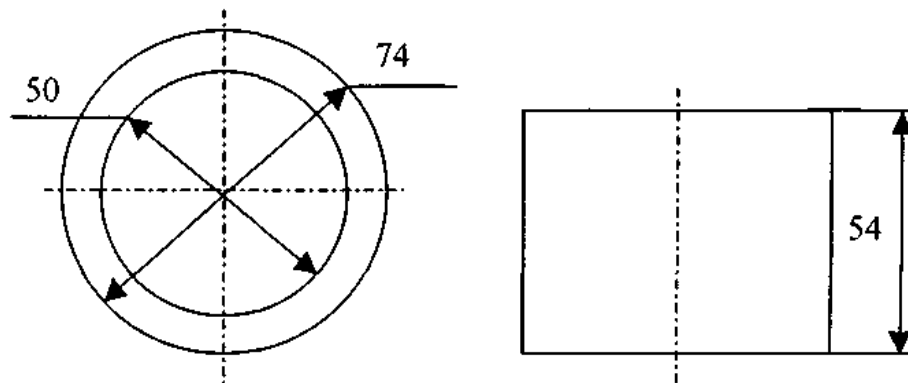


Рисунок 2.9 – Пустотілий циліндр (катод)

Тиск на колодочку складав для різних дослідів від 1 до 15 МПа. Для кожного зразка кількість циклів n випробувань (обертів) складала 65000 або в перерахунку на шлях l тертя – 10205 м. Визначення величини зносу δ здійснювали за товщиною і ваговим методом з точністю до 10^{-4} г у проміжних точках через кожні 1570 м шляху тертя; для цього використовували аналітичні терези АДВ-200.

Випробування на зношення власне корпусів букс виконував в експлуатаційних умовах.

3 НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ШАРІВ ЗАЛІЗА

3.1 Модель і методика оцінки надійності технології залізнення як методу відновлення

Ресурс деталей, відновлюваних існуючими методами, складає лише 60-70 % ресурсу нових деталей. Тому підвищення якості відновлення, точніше, якості технологічних процесів відновлення (ТПВ), є найактуальнішою задачею існуючих ремонтних виробництв [8]. Одним з найважливіших показників якості ТПВ є їх надійність. Застосування цього поняття до ТПВ дещо незвичайне, оскільки більшість фахівців звикло вважати, що теорія надійності вивчає надійність тільки технічних систем (об'єктів), їх вузлів та елементів. Однак в цьому відношенні будь-який технологічний процес, не виключення і ТПВ, належить розглядати як один з рівнів технологічної системи, на поняття якої поширюються існуючі стандарти з надійності технічних систем. Враховуючи останнє і відповідно до [10], введемо деякі поняття й визначення з надійності технологічних процесів відновлення.

Під надійністю технологічного процесу відновлення (НТПВ) слід розуміти властивість цього процесу виконувати функції по зберіганню в потрібний проміжок часу і в поставлених межах установлені ритм відновлення і параметри якості відновлювальних деталей, забезпечуючи необхідні їх безвідмовність та довговічність. В основу НТПВ покладено поняття «відмовність ТПВ». Відмовність ТПВ – подія чи стан ТПВ, при якому значення хоча б одного контрольованого параметра якості чи продуктивності процесу відновлення не відповідає вимогам нормативно-технічної документації. Розрізняють відмови за параметрами якості відновлювальних деталей та за продуктивністю ТПВ (ритму, швидкості відновлення). Відмова ТПВ за параметрами якості – відмова, в результаті якої значення хоча б одного параметра якості наприклад, y_i) відновлювальної деталі не відповідає вимогам нормативно-технічної документації, тобто не знаходиться в поставлених межах допуску ($y_{in} \dots y_{iv}$). Відмова за швидкістю відновлення – відмова, в результаті якої час відновлення деталі не відповідає (менше) тривалості відновлення,

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

що встановлено нормативно-технічною документацією. Отже, в основу створення будь-якого ТПВ ставиться задача забезпечення потрібних значень обраних контрольованих параметрів якості відновлювальних деталей (як правило, з найвищою продуктивністю).

Основним показником НТПВ є безвідмовність. Безвідмовність ТПВ за даним "і"-тим параметром якості чисельно визначається імовірністю $P_i(t)$ виконання завдання за даним параметром. В свою чергу, імовірність $P_i(t)$ виконання завдання за "і"-тим параметром - це імовірність виконання вимог нормативно-технічної документації по цьому параметру для кожної деталі, відновлювальної в проміжок часу $(0 - t)$, тобто це імовірність того, що значення контрольованого параметра y_i в момент часу t знаходиться в межах допуску:

$$P_i(t) = \text{Імов}\{y_{i.n} \leq y_i(t) \leq y_{i.s}\} = \int_{y_{i.n}}^{y_{i.s}} f(y_i) d y_i, \quad (3.1)$$

де $y_i(t)$, $y_{i.n}(t)$, $y_{i.s}(t)$ – відповідно фактичне, нижнє і верхнє значення i -того контрольованого параметра;

$f(y_i)$ – густина розподілення імовірностей значень i -того параметра в момент часу t .

Оцінка надійності усього ТПВ, тобто безвідмовність технології відновлення за усіма m контрольованими параметрами, передбачає визначення імовірності виконання завдання за усіма параметрами одночасно:

$$(3.2) \quad P_{\Sigma}(t) = \text{Імов}\{y_{i.n} \leq y_i \leq y_{i.s}, \dots, y_{m.n} \leq y_m \leq y_{m.s}\}.$$

Якщо відновлені деталі піддають одній контрольній операції за усіма m параметрами якості, то маємо:

$$P_{ij}(t) = \prod_{j=1}^m \{1 - [1 - P_{ij}(t)] \cdot \beta_j(t)\} \quad (3.3)$$

До теперішнього часу в роботах по оцінці НТПВ [7–14] для знаходження $P_i(t)$ за виразом (3.1) закон розподілення $f(y_i)$ пропонується знаходити за статистичними даними усього об'єму вибірки значень кожного параметра якості. Проте важливо

Багаторічна практика залізнення показує, що для цієї технології відновлення головними параметрами якості є [7]: міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ осажденного шару з основою; мікротвердість H_{μ} відновлювального покриття; товщина Δ нанесеного шару. Дані параметри найбільш повно відображують якість деталей, незалежні один від одного, і їх можливо визначати в заводських або деповських умовах. Вимірювання значень інших параметрів, наприклад, внутрішніх напруг, розмірів блоків мозаїки і таке інше у виробничих умовах дуже ускладнено.

Міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ осаду з основою є головною характеристикою, тому що при малому значенні $\sigma_{зч}$ покриття цілком або частково відшаровується і відновлена деталь потрапляє в категорію «брак», при цьому всі інші показники не мають сенсу.

Мікротвердість H_{μ} тісно пов'язана зі зносостійкістю, тому вона є дуже важливою характеристикою безвідмовності роботи гальванопокриттів. Як відомо, зносостійкість – основна експлуатаційна властивість відновлених деталей, що визначає параметричну надійність деталей при експлуатації.

– Встановлення оптимальних значень інтервалів ($y_{in} - y_{iv}$) допусків на обрані параметри якості. Під допуском на контрольований параметр якості розуміють такі (встановлені дослідом або розрахунком) межі значень параметру, при яких дана деталь спроможна виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники протягом необхідного часу за певних умов експлуатації, забезпечуючи при цьому взаємозамінність однойменних відновлених деталей за фізико-механічними властивостями покриттів.

Допуск на $\sigma_{зч}$ задається односторонній – нижня границя. Дані про рекомендовані значення $\sigma_{зч}$ наведено, наприклад, у [10]. Допуски на мікротвердість необхідно визначати, виходячи з її впливу на величину зносу δ покриття. Як буде показано далі, між H_{μ} і δ існує екстремальна залежність. Величина оптимальної мікротвердості H_{μ} відповідає мінімальному зносу δ_{min} і залежить від матеріалу деталі, що відновлюється.

– Експериментальні дослідження по одержанню статистичних даних значень параметрів якості.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

– Виключення грубих помилок, тобто «промахів», із статистичних результатів масивів значень кожного параметру якості. Ця процедура особливо важлива у випадку оцінки екстремальної надійності технології відновлення, оскільки останню пропонується визначати за законами розподілення крайніх значень статистичних вибірок параметрів якості.

– Визначення імовірнісних законів розподілення значень параметрів якості як випадкових величин для усього об'єму вихідної вибірки генеральної сукупності.

– Визначення імовірнісних законів розподілення крайніх членів вихідної вибірки значень параметрів якості; розглянемо це питання детальніше.

Згідно з [14], при відомій початковій функції розподілення $F(y_i)$ усього об'єму вибірки (чисельністю n) значень i -того параметра якості функція розподілення його максимальних значень $F_{mn}(y_i)$ визначиться як

$$F_{mn}(y_i) = F^n(y_i), \quad (3.4)$$

а мінімальних $F_{ni}(y_i)$:

$$F_{ni}(y_i) = 1 - [1 - F(y_i)]^n. \quad (3.5)$$

Якщо розподілення величини y_i змінюється в нескінченному інтервалі, причому мінімум або максимум її може приймати як завгодно велике по абсолютній величині значення, то розподілення максимальних значень буде

$$F_{mn}(y_i) = e^{-e^{-z}}, \quad (3.6)$$

де z – нормоване відхилення від моди; воно дорівнює:

$$z = \alpha(y_i - q), \text{ де } \alpha > 0 \text{ і } q - \text{ константа.}$$

У випадку, коли $y_i \rightarrow -\infty$, розподілення мінімальних значень достатньо швидко наближається до нуля (але не обертається в нуль ні при якому кінцевому y_i) і буде асимптотично слідувати за законом

$$F_{ni}(y_i) = 1 - e^{-e^z} \quad (3.7)$$

Розподілення $F_{ni}(y_i)$ та $F_{nn}(y_i)$ несиметричні та необмежені.

– Чисельна оцінка НТПВ по кожному контрольованому параметру якості; визначення $P_i(t)$ згідно з (3.1). Аналіз можливості підвищення $P_i(t)$ за рахунок зміни (керування) вихідних величин підпроцесів, що впливають на i -тий параметр якості.

– Визначення найменшого допустимого і оптимального рівнів НТПВ. Це здійснюється з економічних міркувань з урахуванням вартості відновлення і собівартості виготовлення нових деталей.

– Чисельна оцінка НТПВ по усій сукупності контрольованих параметрів якості; знаходження $P_{\Sigma}(t)$ за виразом (3.2).

– Прогнозування НТПВ. При цьому необхідним є аналіз фізики відмов процесу відновлення, вивчення закономірностей зміни функціональних властивостей нанесеного шару, структурний аналіз технологічних схем та ін.

В наступних пунктах вищенаведені модель та методика застосовується для оцінки НТПВ шляхом електролітичного нанесення залізних покриттів. Для цього на лабораторній установці (рис. 2.1) було виконано досліди по залізненню деталей типу «корпус букси», виконаних із сталі 25Л. Осадження здійснювали позаванним способом в проточному електроліті оптимального складу на ефективному струмовому режимі, параметри якого не змінювали для всіх дослідів; тривалість кожного дослідів складала 3 години.

Статистичну обробку одержаних масивів значень показників якості виконано на ЕОМ; при цьому визначали їх математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, асиметрію та ексцес розподілення.

3.2 Надійність технологічного процесу по параметру «міцність зчеплення»

Висока міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ з основним металом є визначальним параметром при використанні електролітичного заліза для відновлення зношених деталей.

										0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							39

Зчеплення електролітичного покриття з будь-яким металом не є властивістю самого покриття, оскільки електролітичний метал з певними фізико-механічними властивостями може бути отриманий незалежно від характеру його зчеплення з основою. Проте, якими б високими не були механічні характеристики одержуваного покриття, його працездатність вирішальним чином залежить від міцності зчеплення з основою.

Для визначення НТПВ за критерієм $\sigma_{зч}$ була одержана статистика з 540 експериментальних значень міцності зчеплення (з параметрами, $\bar{\sigma}_{зч} = 127,1$ МПа та $\sigma = 62,6$ МПа), в якій, насамперед, були виключені «промахи» вимірювань.

3.2.1 Виключення грубих помилок вимірювань міцності зчеплення

Згідно з методикою робіт [7,14], при об'ємі вибірки $n > 52$ максимальне значення $\sigma_{зч}^{max}$ виключається, якщо

$$\sigma_{зч}^{max} > \bar{\sigma}_{зч} + \sigma_{\sigma_{зч}} \cdot q_{s,n}, \quad (3.8)$$

а мінімальне – якщо

$$\sigma_{зч}^{min} < \bar{\sigma}_{зч} - \sigma_{\sigma_{зч}} \cdot q_{s,n}, \quad (3.9)$$

а $q_{0,05;540} = 3,05$.

$$\sigma_{зч}^{max} = 127,1 + 62,6 \cdot 3,05 = 318,03 \text{ МПа} \quad (3.10)$$

а нижня границя

$$\sigma_{зч}^{min} = 127,1 - 62,6 \cdot 3,05 = -63,83 \text{ МПа} \quad (3.11)$$

З отриманих значень робимо висновок: максимальні значення $\sigma_{зч}$, що дорівнюють 336,39 МПа, 339,76 МПа і 346,59 МПа, вилучаються, оскільки вони перевищують отримане значення верхньої границі (3.9); мінімальні значення не вилучаються, оскільки перший член вибірки, рівний 11,77 МПа, значно більше встановленої границі (3.10).

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.2 Оцінка надійності технологічного процесу залізнення за критерієм $\sigma_{зч}$

Вихідна вибірка має 537 значень. Гістограма розподілення цієї вибірки подана на рис.3.1; параметри склали $\bar{\sigma}_{зч} = 121,15$ МПа, $\sigma = 58,4$ МПа. Згідно з зовнішнім видом гістограми, вона була апроксимована кривими теоретичних розподілень законів: Гауса, Релея, Вейбула, логарифмічно нормальним та відсіченим нормальним. Перевірка узгодженості статистичного та теоретичного розподілень за критерієм Пірсона показала, що гіпотези про закони Релея, Вейбула та логарифмічно нормальний не підтвердились.

Одночасно, перевірка за χ^2 - критерієм відповідності гістограми $\sigma_{зч}$ нормальному закону розподілення підтвердила гіпотезу, оскільки отримане значення $\chi^2 = 8,1 < 12,6$ – критичної точки розподілення χ^2 при рівні значності 0,05 і шести ступенів вільності.

Отже, маємо статистику значень $\sigma_{зч}$, що розподілені по нормальному закону (рис. 3.1, крива 2); необхідно знайти функцію розподілення $F_{nl}(\sigma_{зч})$ мінімальних значень $\sigma_{зч}$, оскільки відновлена деталь бракується по нижній границі $\sigma_{зч}$, і знаходження закону розподілення максимальних значень $\sigma_{зч}$ не має сенсу.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$F(\sigma_{зч}), 10^{-3}$

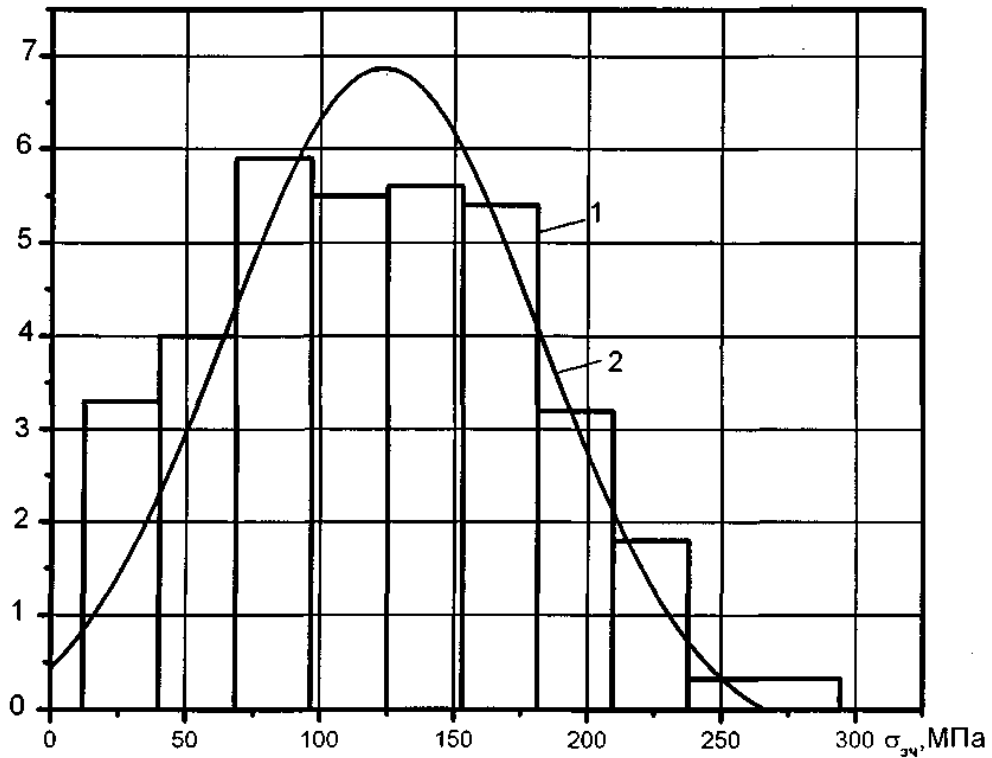


Рисунок 3.1 – Гістограма (крива 1) та теоретичний закон (крива 2) розподілення міцності зчеплення $\sigma_{зч}$ в вихідній виборці

Спочатку для загального випадку доведемо формулу для функції розподілення $F_{nl}(y_i)$ довільної випадкової величини Y .

Тоді, згідно з (3.8), функція розподілення мінімальних значень власне випадкової величини $\sigma_{зч}$, розподіленої по відсіченому нормальному закону, запишеться як:

(3.12)

$$F_{nl}(\sigma_{зч}) = 1 - \left(1 - \frac{l}{A} \cdot \Phi\left(\frac{\bar{\sigma}_{зч}}{\sigma_{\sigma_{зч}}}\right) - \frac{l}{A} \cdot \Phi\left(\frac{\sigma_{зч} - \bar{\sigma}_{зч}}{\sigma_{\sigma_{зч}}}\right) \right)^n,$$

де $n = 537$;

$\bar{\sigma}_{зч} = 121,15$ мПа,

$\sigma_{\sigma_{зч}} = 58,4$ мПа;

а густина розподілення мінімальних значень $\sigma_{зч}$:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

42

$$f_{nl}(\sigma_{3ч}) = n \left(1 - \frac{1}{0,9821} \cdot \Phi \left(\frac{\bar{\sigma}_{3ч}}{\sigma_{\sigma_{3ч}}} \right) - \frac{1}{0,9821} \cdot \Phi \left(\frac{\sigma_{3ч} - \bar{\sigma}_{3ч}}{\sigma_{\sigma_{3ч}}} \right) \right)^{n-1} \times$$

$$\times \frac{1}{0,9821} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\sigma_{3ч} - \bar{\sigma}_{3ч})^2}{2\sigma_{\sigma_{3ч}}^2}} \cdot \frac{1}{\sigma_{\sigma_{3ч}}} \quad 3.13)$$

За виразом (3.13) на рис 3.2 (крива 2) побудовано закон розподілення мінімальних значень $\sigma_{3ч}$.

$F(\sigma_{3ч}), 10^{-2}$

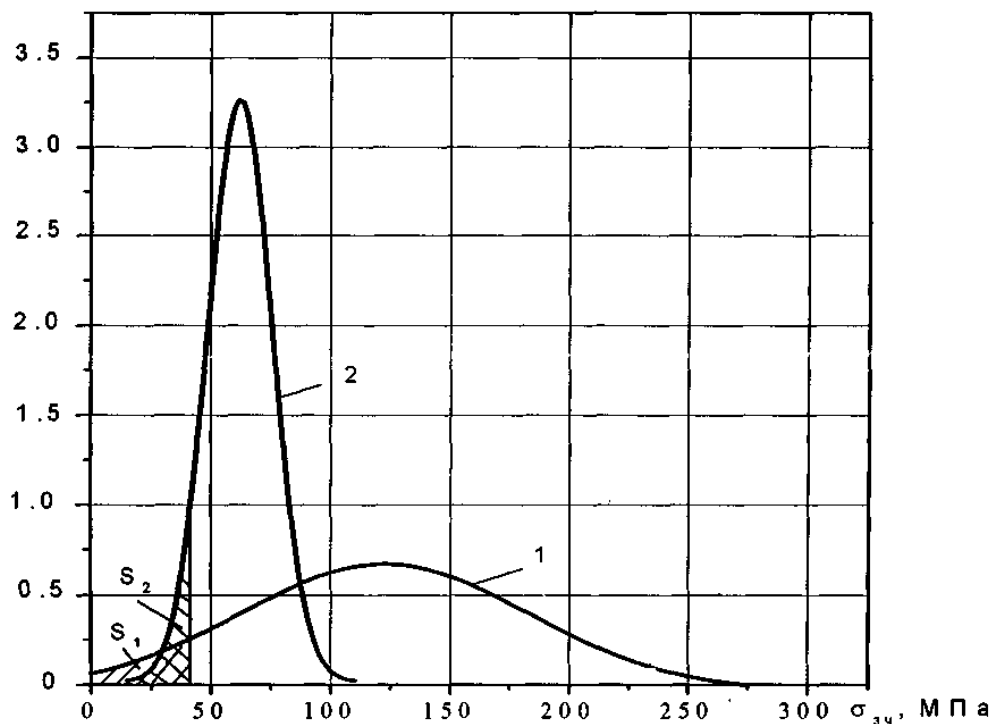


Рисунок 3.2 – Відсічене нормальне розподілення $\sigma_{3ч}$ в вихідній вибірці (крива 1) і густина розподілення мінімальних значень $\sigma_{3ч}$ (крива 2)

Згідно з рис. 3.2, при розрахунках для умов повної вихідної вибірки (крива 1) з допустимим значенням $\sigma_{3ч} = 40$ Мпа, імовірність відмови ТП по критерію $\sigma_{3ч}$ дорівнює 0,093. Тобто, при існуючій моделі надійності, бракується 50 деталей, що складає 9,3 % від загальної вибірки (площа S_1 на рис. 3.2). Тобто, кількість деталей, що бракуються, склала 62, у процентному відношенні це 11,5 % (площа S_2).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

43

3.2.3 Прогнозування і фактори підвищення мінімальних значень міцності зчеплення

Для розв'язання задачі прогнозування, насамперед, була одержана статистика мінімальних значень $\sigma_{зч}$ за рекомендаціями [14]. Для цього було випробувано 540 зразків з нанесеним залізним покриттям. Вони були поділені на 90 груп, кожна з яких мала 6 зразків. На зразки кожної групи наносили шар заліза в певному режимі, міцність зчеплення на яких вимірювали і для подальшого вибирали найменше значення. Таким чином була одержана вибірка N з 90 мінімальних значень $\sigma_{зч}(\sigma_{зч}^{(1)}, \sigma_{зч}^{(2)}, \dots, \sigma_{зч}^{(k)}, \dots, \sigma_{зч}^{(N)})$, а параметри склали: математичне очікування $\sigma_{зч}^{min} = 85,22$ МПа, середньоквадратичне відхилення $S\sigma_m = 42,93$ МПа, коефіцієнт асиметрії $A_s = 0,344$ і ексцес $E_s = -0,577$.

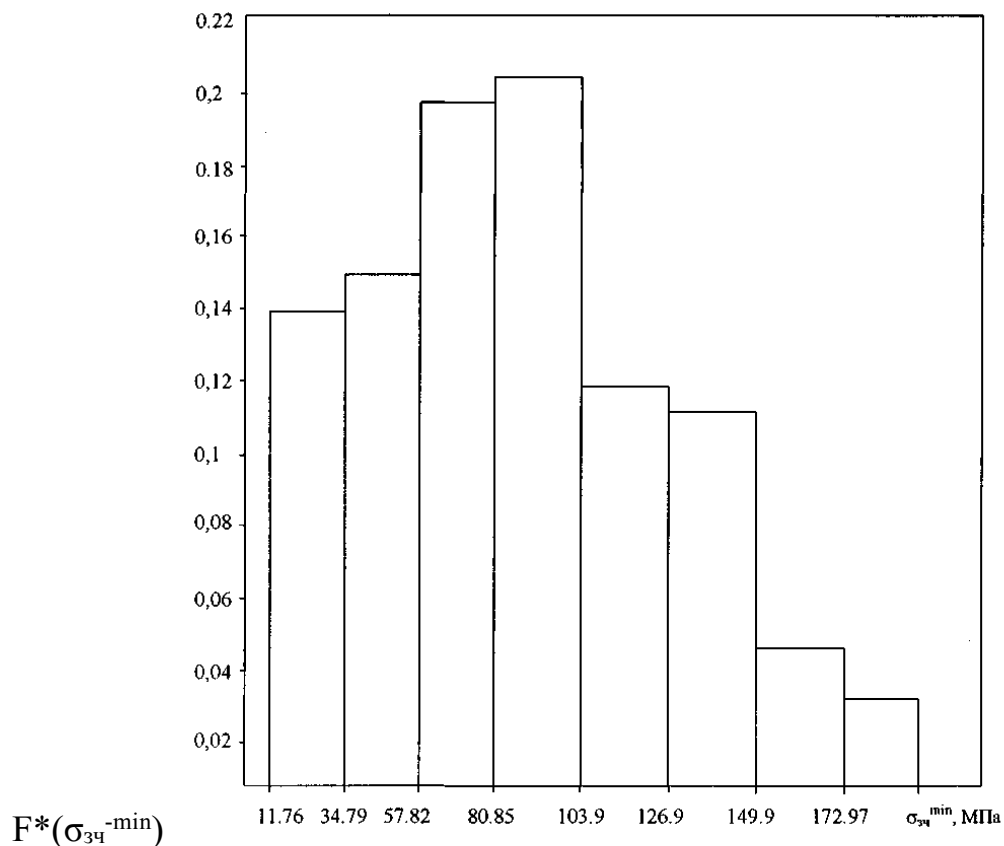


Рисунок 3.3 – Гістограма розподілення мінімальних значень міцності зчеплення залізних покриттів, одержаних для прогнозування

Із прогнозних кривих (рис. 3.4 витікає), що при відновленні деталей залізненням при дотримуванні потрібної якості операцій технології (зокрема, якісної підготовки поверхні, відсутності пауз в процесі залізнення, підтримки РН 0,8 і концентрації $\text{FeCl}_2 \approx 400$ г/л) мінімальні значення величини зчеплення осаду з основою, наприклад при імовірності 0,9, будуть дорівнювати 40МПа.

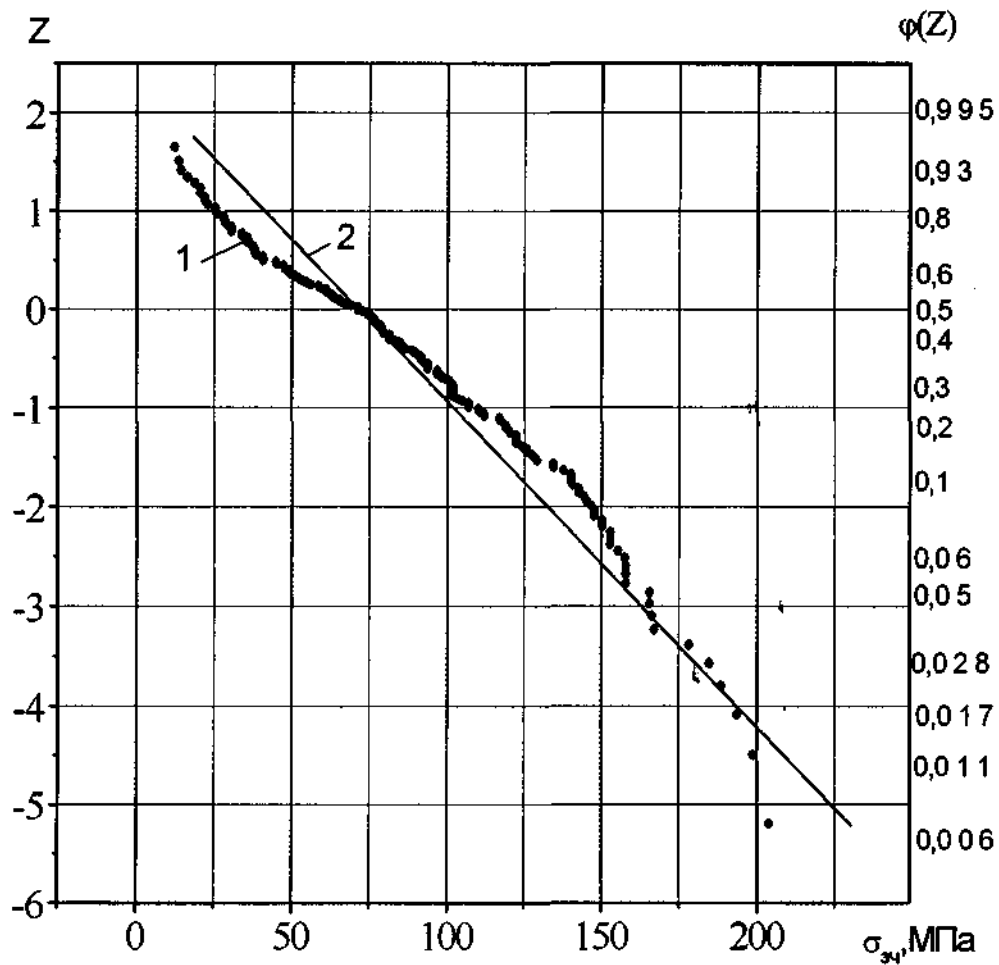


Рисунок 3.4 – Залежність мінімальних значень $\sigma_{зч}^{min}$ і імовірностей $\varphi(z) = P_{nl}$ від нормованого відхилення z :

1 – експериментальна залежність; 2 – апроксимуюча лінійна залежність.

Для прогнозування звернемося до асимптотичного розподілення (3.6) – функції розподілення мінімальних значень, скориставшись процедурою Гумбеля. Ця процедура призводить до побудови графіка залежності значень досліджуваних мінімумів $\sigma_{зч}$ від нормованих відхилень z . Для цього розташуємо 90 одержаних мінімальних

значень $\sigma_{3ч}^{(k)}$ у варіаційний ряд у порядку зростання ($\sigma_{3ч}^{(1)} < \sigma_{3ч}^{(2)} < \dots < \sigma_{3ч}^{(k)} < \dots < \sigma_{3ч}^{(N)}$). Для кожного з цих значень знаходимо значення накопичених частот $\frac{k}{N+1}$, які відповідають членам варіаційного ряду. Прирівнюємо кожне із значень частот функції $\varphi(z_k)$ імовірності $P_{nl}(\sigma_{3ч}^{(k)})$:

$$\varphi(z_k) = \frac{k}{N+1} = P_{nl}(\sigma_{3ч}^{(k)}) \quad (3.14)$$

і, користуючись формулою

$$z_k = -2,30261 \lg(-\lg \varphi(z_k)) - 0,83405,$$

знаходимо значення величини z_k .

Одержані вище значення у вигляді точок $(\sigma_{3ч}^{(k)}, z_k)$ наносимо на побудований в координатах $\sigma_{3ч} - z$ графік, одержуємо нелінійну залежність (рис.3.4, крива 1).

На цьому ж графіку (рис.3.4) будуємо наближену (апроксимуючу) пряму залежність, яка описує залежність між мінімальними $\sigma_{3ч}^{min}$ з однієї сторони і нормованими відхиленнями z та імовірностями $P_{nl}(\sigma_{3ч}) = \varphi(z)$, з другої. Для цього, скориставшись знайденими вище середнім ($\sigma_{3ч}^{min} = 85,22$ МПа) і середнім квадратичним відхиленням ($S\sigma_{3ч}^{min} = 42,93$ МПа) мінімальних значень міцності зчеплення знаходимо допоміжні величини \bar{Z}_{90} і σ_{90} , що відповідають $N = 90$; вони дорівнюють: $\bar{Z}_{90} = 0,5586$; $\sigma_{90} = 1,2007$.

Потім визначаємо оцінки параметрів $\frac{l}{a}$ і \bar{q} в рівнянні $\sigma_{3ч}^{min} = q - \frac{z}{a}$ за формулами:

$$\frac{l}{a} = \frac{S\sigma_m}{\sigma_N} = \frac{42,93}{1,201} = 35,75, \quad (3.15)$$

$$\bar{q} = \sigma_{3ч}^{min} + \bar{Z}_{90} \cdot \frac{l}{a} = 85,22 + 0,5586 \cdot 35,75 = 105,2. \quad (3.16)$$

Тоді шукане рівняння апроксимуючої прямої має вигляд

$$\sigma_{3ч}^{min} = \bar{q} - \bar{Z} \cdot \frac{l}{a} = 105,2 - 35,75 \cdot Z, \quad (3.17)$$

або

$$Z = 2,94 - 0,028 \cdot \sigma_{3ч}^{min} . \quad (3.18)$$

Ця лінія побудована на рис. 3.4 (крива 2) і проведена до значення ординати, яка відповідає імовірності $P_{nl}(\sigma_{3ч}^{min}) = \varphi_k(z) = 0,999$.

В подальшому проаналізуємо, за рахунок яких факторів можливо підвищити $\sigma_{3ч}$ й тим самим зменшити відсоток бракованих корпусів букс за цим критерієм. Згідно з рівнянням Грифітса - Орована, міцність зчеплення визначається як:

$$\sigma_{3ч} = \sqrt{\frac{8W \cdot G}{\pi(1-\nu)L}} , \quad (3.19)$$

де W – енергія, що потрібна для збільшення одиничної площі тріщини, яка включає фактичну поверхневу енергію і роботу пластичної деформації матеріалу рухомого кінця тріщини;

L – довжина тріщини;

G – модуль пружності;

$\nu \approx 0,3$ - коефіцієнт Пуасона.

Для заліза поверхнева енергія визначається як:

$$W = W_0 \left(1 - \frac{\kappa}{2d_{max}} \cdot d \right) , \quad (3.20)$$

де W_0 – енергія на одиницю площі руйнування;

d – ділатація металу;

κ – коефіцієнт зниження поверхневої енергії границь домішками (наприклад, воднем), що адсорбуються на свіжоутворених поверхнях.

Підставимо (3.20) в (3.19), виконаємо перетворення, знехтуємо величинами другого порядку малості і одержимо залежність міцності зчеплення заліза від розмірів зерен і пористості

$$\sigma_{3ч} = \sigma_0 (1 - \beta \cdot d) + K' \cdot D^{-1/2} - K' \cdot \beta \cdot D^{-1/2} , \quad (3.21)$$

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

де K' – структурно-чуттєва константа матеріалу;

$$\beta = \frac{\alpha + \alpha'}{2}; \quad (3.22)$$

де α – коефіцієнт, що враховує вплив пористості.

Підкреслимо, що при одержанні формули (3.21) припускали, що довжина тріщини L дорівнює розміру блоків мозаїки D .

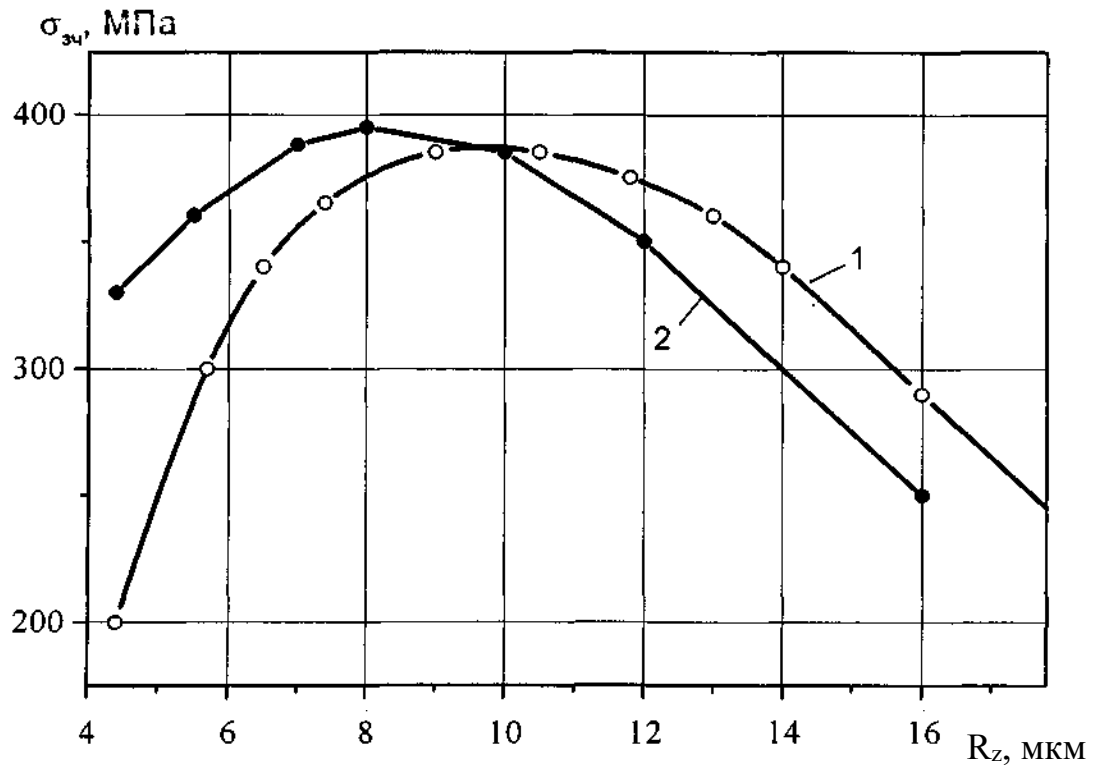


Рисунок 3.5 – вплив нерівностей R_z поверхні основи на міцність зчеплення покриттів заліза при обробці в відновлювальній деталі в 30% H_2SO_4

Як витікає із (3.21), міцність зчеплення нанесених шарів заліза суттєво залежить від розмірів зерна і пористості покриття. Крім цього, дослідження показують також важливість впливу на $\sigma_{зч}$ морфології поверхні основи, її шорсткості. Залежність $\sigma_{зч}$ від висоти нерівностей R_z наведено на рис.3.5, який дозволяє стверджувати, що величину R_z потрібно забезпечити на рівні 5–12 мкм. Останнє обумовлюється як електричним режимом анодної обробки поверхні деталі, так і розчином (електролітом), в якому здійснюється ця обробка (табл. 3.1).

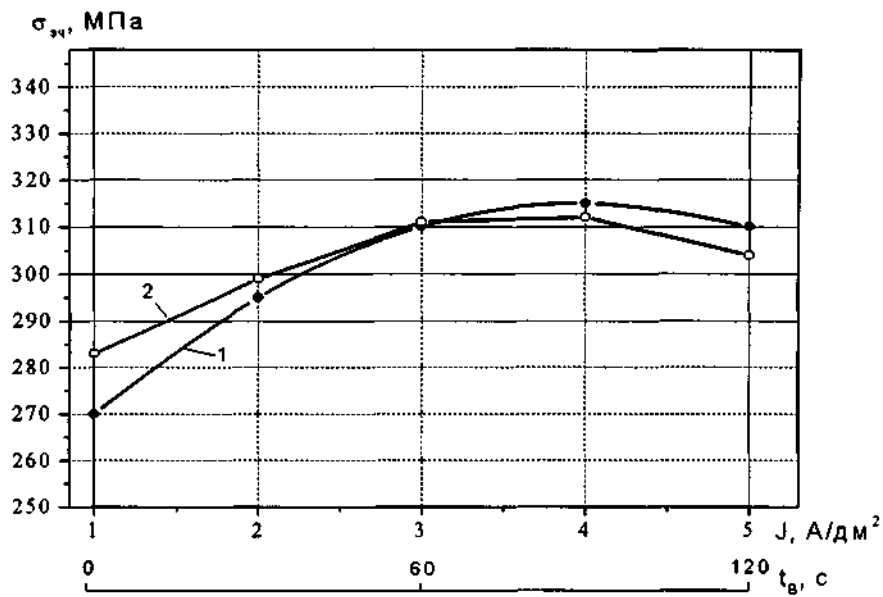


Рисунок 3.6 – Залежність міцності зчеплення залізних покриттів з основою від початкової густини струму осадження J (1) і від тривалості витримки зразка без струму $t_{в}$ (2)

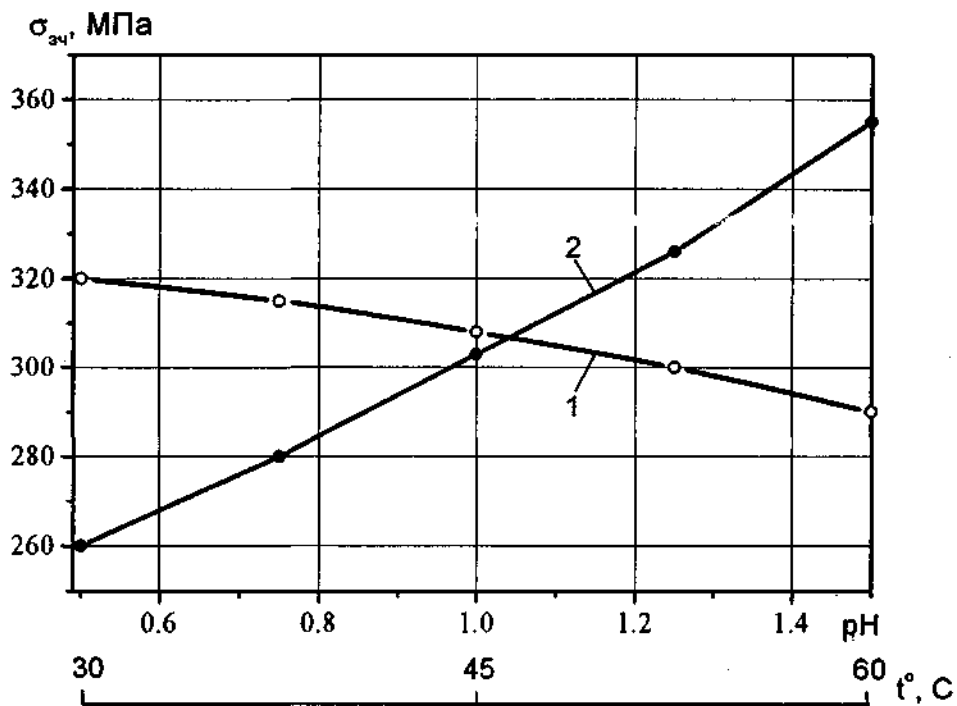


Рисунок 3.7 – Вплив рН електроліту (1) і його температури (2) на міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ залізних осадів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

50

Таким чином, для збільшення кількості якісних деталей необхідно прийняти ряд заходів, як правило, технологічного характеру. Головним є чітке дотримання визначених технічною документацією режимів і якості усіх операцій технології залізнення, особливо попереднього підготування деталі.

3.3 Надійність технологічного процесу по параметру «товщина відновлювального шару»

Товщина покриття при залізненні контролюється, з позицій необхідності забезпечення заданих розмірів при відновленні поверхні корпусу букси відповідно до встановлених технічною документацією із припуском на фінішне опрацювання. Головним чинником, що визначає величину нанесення шару є тривалість електролізу. У літературі існують різні дані по швидкості осадження за одиницю часу. Це обумовлено тим, що на інтенсивність процесу також впливають багато чинників: густина струму, концентрація солі заліза в електроліті, кислотність і температура електроліту, а також матеріал аноду. З огляду на ці фактори, важливо вибрати оптимальний режим процесу і правильно визначити тривалість, необхідну для відновлення деталі. Інакше необхідно буде або повторювати процес для донарошування покриття, або шліфувати зайвий шар осаду, що в обох випадках приведе до збільшення собівартості ремонту корпусу.

Тому становить інтерес розподілу мінімальних і максимальних значень товщини покриття; оцінимо їх.

Маємо вибірку з 540 експериментальних значень товщини Δ осадженого шару. При пошуку грубих помилок (промахів) серед цих даних, використовували методику, зазначену в попередніх підрозділах 3.2 і 3.3.

Серед цих значень промахів не виявлено. Тому гістограму будуюмо по повній вибірці (рис. 3.8 крива 1). Апроксимація цієї гістограми відсіченим нормальним законом підтвердилась: значення $\chi^2 = 8,9 < 15,5$, де 15,5 є границею при даних параметрах вибірки [10].

0,11; 0,065 і 0,031, тобто 19 % корпусів букс бракується за невиконанням допустимих значень вищезазначених показників якості процесу.

– Основними заходами підвищення надійності технології залізнення шляхом збільшення міцності зчеплення $\sigma_{зч}$ відновлювального шару електролітичного заліза з основним металом корпусу букси є, насамперед, чітке і якісне дотримання визначених технічною документацією операцій.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

4 ПАРАМЕТРИЧНА НАДІЙНІСТЬ КОРПУСІВ БУКС ПРИЗНОСОВИХ ВІДМОВАХ

4.1 Характеристика і механізм зношення корпусів букс, виготовлених з базового матеріалу

На сьогодні статистичні дані по зносу корпусів букс відсутні як у локомотивних депо, так і на ремонтних заводах; такий стан мав місце і раніше, на території залізниць колишнього СРСР. Тому нами насамперед було виконано дослідження процесу зносу корпусів букс, виготовлених із базової сталі тепловозів серій 2ТЭ116 в умовах експлуатації залізниць України [10].

Виміри робили в двох взаємно перпендикулярних площинах біля переднього та заднього підшипників (рис. 4.1); в результаті визначали знос по діаметру корпусу, овальність (O_B) і конусність (K_o) внутрішньої поверхні.

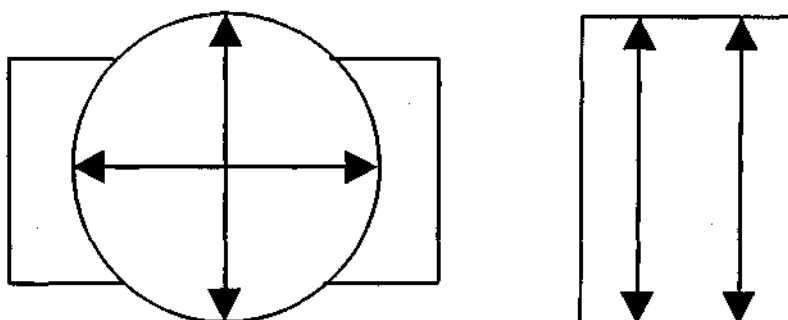


Рисунок 4.1 – Схема виміру внутрішнього діаметра корпусу букси

Оскільки величина зношення δ є випадковою, то отримані результати подано у вигляді гістограм (рис. 4.2 - 4.3).

Букса є одним з найбільш навантажених вузлів тепловоза і сприймає різноманітні по напрямку і силі, у тому числі й ударні, навантаження. Зношення елементів букси обумовлюється багатьма факторами, основними з яких є експлуатаційні і технологічні; розглянемо їх.

$F(\delta), 10^{-2}$

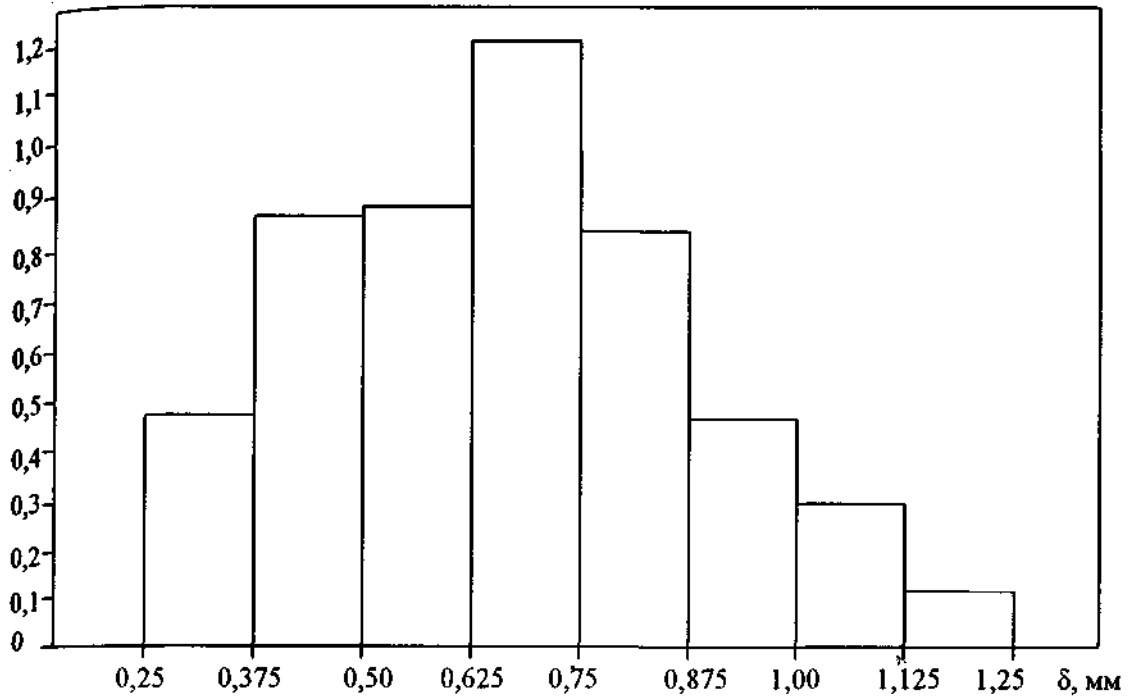


Рисунок 4.2 – Гістограма величини зносу корпусів букс тепловозів 2ТЭ116

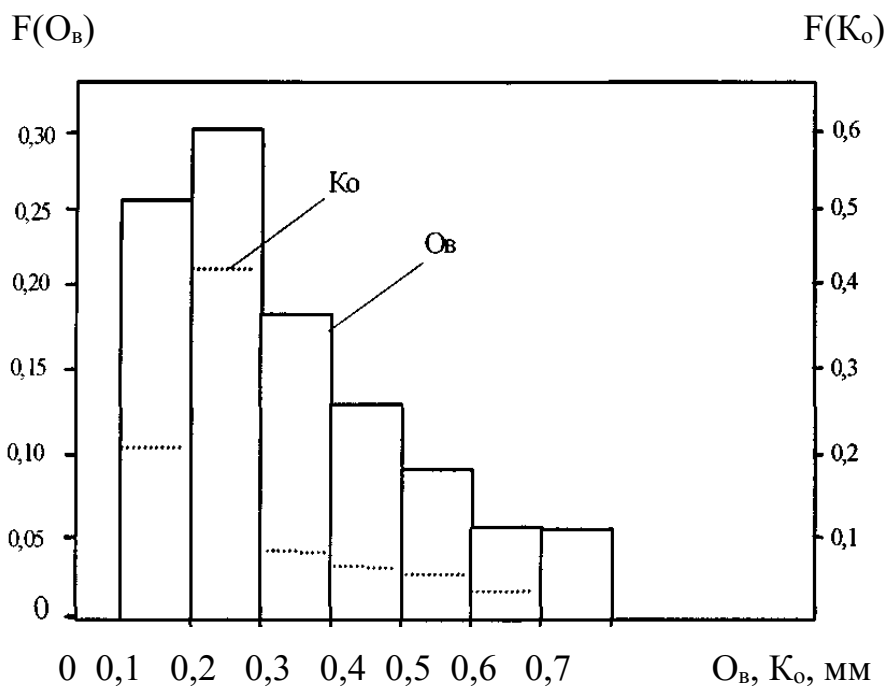


Рисунок 4.3 – Гістограми овальності ($O_{в}$) і поверхні конусності ($K_{о}$) внутрішньої корпусів букс тепловозів 2ТЭ116

Експлуатаційний знос має місце внаслідок того, що буксовий вузол під час руху тепловоза практично постійно знаходиться в умовах вібраційно коливальних

Проте, на мою думку, у парі «корпус букси – зовнішнє кільце підшипника» у більшому ступені діє другий різновид корозії, названий фреттинг-корозією.

Цей вид корозії характеризується значною швидкістю поширення і наростаючою інтенсивністю, а також утворенням продуктів корозії, відмінних за складом і твердістю від продуктів інших видів корозії (наприклад, електрохімічної). Тому фреттинг-корозія супроводжується появою на поверхнях, що контактують, темно-бурих або червоних окислів заліза. Серед продуктів фреттинг-корозії було виявлено біля 95 % Fe_2O_3 і приблизно 5 % часток здрібненого металу, домішок закису, закису-окису і гідроксиду заліза. Аналіз слідів фреттинг-корозії корпусів букс показує, що ці сліди дають різноманітну форму і розміри і пов'язані, мабуть, із відхиленнями від правильної геометричної форми контактних поверхонь, тобто обумовлені конусністю і овальністю. Отже, у системі заходів, спрямованих на усунення фреттинг-корозії в буксі з роликівими підшипниками, величезне значення має дотримання креслярських розмірів, правильність зборки і відновлення корпусу букси.

Процес фреттинг-корозії до кінця ще не вивчено, найбільш імовірною є наступна схема його протікання [9-10]. Контактні поверхні металів під впливом високих навантажень і переміщень (на малу величину, або коливальних переміщень) зазнають великих пластичних деформацій і внаслідок чого активуються, що сприяє їх покриттю оксидними плівками різноманітної товщини. Ці плівки являються більш крихкі, ніж основний метал і при наступних деформаціях руйнуються і відшаровуються. По суті вони є абразивом і тому, знаходячись у зоні тертя, сильно сприяють руйнації поверхні металів пари тертя. Крім того, виявлені нітриди металів також роблять суттєвий вплив при високих навантаженнях на спряжені поверхні, що вібрують, якими являються елементи букси. Ушкодження фреттинг-корозією призводять до зміни геометричних розмірів, порушенню точності спряження поверхонь, а також до зниження міцності втомлення ушкоджених деталей. У свою чергу, це може призвести до їх заклинювання, погіршує роботу й обслуговування всього вузла.

В буксах із роликівими підшипниками ушкодження фреттинг-корозією спостерігаються на поверхні контакту шийок осей із внутрішніми кільцями

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

підшипників (при гарячій посадці) або з чопами (при втулковій посадці) і на поверхні контакту корпусів букс із зовнішніми кільцями підшипників.

Кількість металу, що руйнується фреттинг-корозією, пропорційна числу циклів (проворотів кільців підшипника). Ця пропорційність зберігається при роботі букси в умовах різноманітної вологості повітря й у нейтральному середовищі. При наростанні числа циклів збільшується площа, що уражена корозією, і глибина ушкоджень на окремих ділянках.

Границі коливальних переміщень, здатних викликати фреттинг-корозію лежать від долей мікрона до 1 мм. При цьому, чим більше амплітуда таких переміщень, тим інтенсивніше фреттинг-корозія.

Вплив навантаження як фізико-механічного фактора має величезне значення і тісно пов'язане з амплітудою коливань. В міру підвищення навантажень, що сприяють збільшенню амплітуди переміщень сполучених поверхонь, інтенсивність ушкоджень фреттинг-корозією зростає [9].

Для визначення площі контакту корпусу букси і зовнішнього кільця підшипника, необхідної для визначення питомого навантаження, мною було оглянуто 150 корпусів букс тепловозів у локомотивному депо Пологи Придніпровської залізниці. Встановлено, що площа контакту зовнішнього кільця підшипника і корпусу букси коливається в межах від 2/3 до 5/6 загальної контактної площі. Причому величина цієї площі являється випадковою і розподілена по нормальному закону. Для знаходження середнього питомого тиску виконаємо відповідні розрахунки.

Ширина підшипника, що контактує з робочою поверхнею корпусу букси складає 80 мм. Тоді їхня площа повного контакту буде дорівнювати:

$$S_1 = \pi D \cdot h, \quad (4.1)$$

де h – ширина кільця підшипника, мм;

D – діаметр внутрішньої поверхні корпусу букси, мм.

$$S_1 = \pi D \cdot h = 3,14 \cdot 290 \cdot 80 = 72848 \text{ мм}^2,$$

$$\frac{2S_{min}}{3} = S_1 \quad (4.2)$$

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$\frac{2S_{min}}{3} = S_1 \approx 48565,3 \text{ мм}^2,$$

а середнє значення: $S_{cp} \approx 60706,6 \text{ мм}^2$.

Так як в буксі встановлено два підшипника, то середнє значення площі збільшуємо в два рази : $2S_{cp} = 121413,2 \text{ мм}^2$

При цьому середній питомий тиск у буксі тепловоза 2ТЭ116 складає:

$$P_{cp} = \frac{P}{S_{cp}}, \quad (4.3)$$

де P – навантаження, що приходить на одну буксу. Величина P_{cp} необхідна для подальших експериментальних досліджень.

$$P_{cp} = \frac{P}{S_{cp}} \approx \frac{13500}{1214132} \approx 0,11 \text{ кгс /мм}^2 \approx 1,1 \text{ МПа}$$

При ретельному огляді виявилось, що виробка по всьому колу корпусу букси має різну глибину і, певно, залежить від багатьох чинників, а її ширина дорівнює контактній ширині зовнішнього кільця підшипника. Вищенаведене дозволяє стверджувати, що за експлуатаційний період (між ПР 3) корпус букси сприймає різні за величиною і напрямком навантаження, які і викликають зміну креслярських геометричних форм і розмірів.

Крім істотного, проаналізованого вище експлуатаційного зносу, корпус букси зношується і технологічно. Якщо експлуатація тепловоза впливає на знос корпусу букси в міжремонтний період між ПР3, то технологічний знос має місце під час ремонту і являє собою примусове цільове збільшення діаметра корпусу шляхом верстатної розточки або шліфуванням з метою усунення овальності, конусності, короблення, а також слідів фреттинг-корозії, рисок і т.ін.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

4.2 Працездатність відновлених корпусов букс за критерієм витривалості

В парі тертя «корпус букси – зовнішнє кільце підшипника» обидві складові здійснюють ударні вібраційно-коливальні переміщення в умовах сухого і граничного тертя. В результаті під дією вертикального навантаження, що циклічно змінюється, вони пружно деформуються (прогинаються). Тому, поряд із високою зносостійкістю, відновлені залізненням корпуси букс повинні мати достатню втомлену міцність. Більш того, відомо, що втомлена руйнація деталей може відбуватися без помітної пластичної деформації всього обсягу цих деталей. Це тим більше стосується такої масивної і великогабаритної деталі, як корпус букси.

Вивченням впливу залізних покриттів на витривалість деталей машин займався багато дослідників і їхня думка неоднозначна.

Пропозиції автора [9] використати для цієї мети отримані ними математичні моделі, що описують вплив умов електролізу на втомлену міцність циліндричних деталей, неможливо прийняти в наслідок наступних обставин.

По-перше, рівняння регресії в [9] визначено для відновлення деталей із сталі 45 у висококонцентрованому хлоридному електроліті на товщину шару 0,2 мм.

По-друге, оптимізовані стосовно втомленої міцності параметри режиму електролізу не забезпечують зберігання інших властивостей покриття наприклад, зносостійкості.

По-третє, у запропонованих моделях не відображено вплив протоку електроліту, якщо таке передбачено. Нарешті, у край складно описати всі можливі варіації відновлення необхідних деталей: їхній тип, марку сталі, необхідний відновлювальний шар і т.ін. Тому нами було виконано самостійні дослідження з впливу відновлювального шару твердого заліза на втомлену міцність металу корпусів букс.

Для цієї мети контрольні зразки зі сталі 25 Л були розбиті на три групи. Зразки групи I не піддавалися ніяким попереднім впливам, у «чистому» вигляді вони були випробувані розтягом і служили для порівняння. Зразки групи II були попередньо проточені на 0,5 мм і потім покриті електротехнічним залізом на постійному струмі з робочою густиною $J_k = 20$ А/дм, електроліт не прокачувався, його

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

температура складала 30°C. Зразки групи III також попередньо було проточено на 0,5 мм і потім покрито гальванічним залізом, але відповідно до запропонованої нами технології на комбінованому струмі і з прокачуванням електроліту. Результати досліджень подано на рис. 4.5.

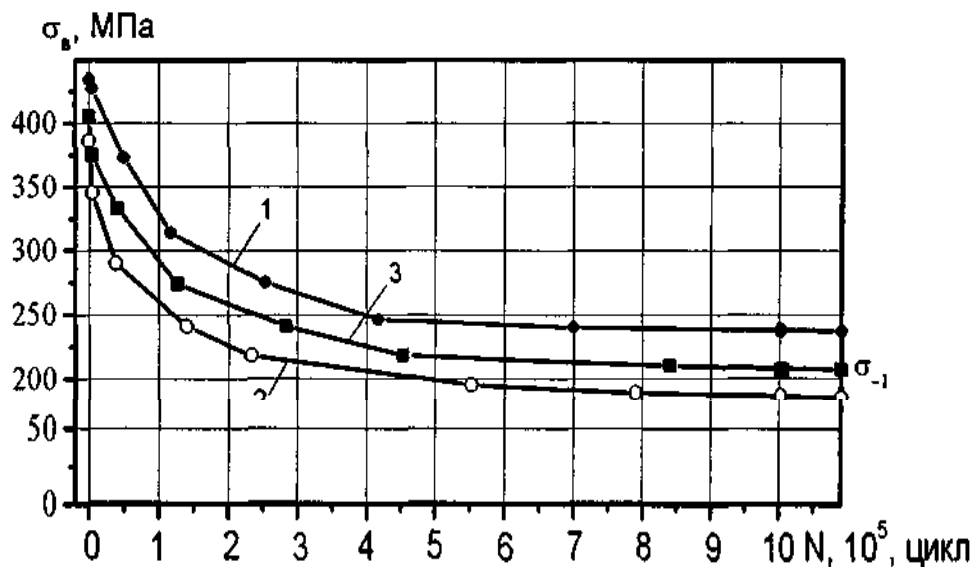


Рисунок 4.5 – Криві витривалості деталей типу «корпус букси» із сталі 25 Л: 1 – без покриття; 2 – залізнена в стаціонарних умовах; 3 – залізнена по запропонованій технології

З рис. 4.5 випливає, що, по-перше, для усіх випробуваних матеріалів границя втоми σ_{-1} спочатку зменшується швидко зі збільшенням числа циклів N але після декількох мільйонів N криві $\sigma_{-1}(N)$ асимптотично наближаються до постійної величини: 237 МПа для непокритої сталі 25Л; 185 МПа – для залізненої у стаціонарних умовах; 204 МПа – для залізненої по досліджуваній технології. Якщо прийняти границю витривалості зразків групи I (237 МПа) за 100 %, то витривалість групи II (185 МПа) складає 78 %, а витривалість групи III – 86 %. Тобто, залізнена запропонованою технологією [7] знижує σ_{-1} на 14 %. Нарешті, границя витривалості зразків групи III вище, ніж зразків групи II на 8 %.

Виявлене в зазначених дослідках зниження величини σ_{-1} для корпусів букс, відновлених залізненням (у порівнянні з новими корпусами), мабуть, пояснюється тим, що будь-які (нанесені будь-яким методом) металопокриття, володіючи

і більш пластичні, що позитивно впливає на одержання виявленої підвищеної граници витривалості σ_{-1} .

Оскільки величина зносу корпусу букси, а отже і відновлювальний шар заліза, по товщині мають великий розкид, то внутрішні напруження σ_1 було досліджено при різних наступних товщинах нанесеного шару (мм): 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 і 1,0.

Результати вимірів σ_1 подано на рис. 4.6.

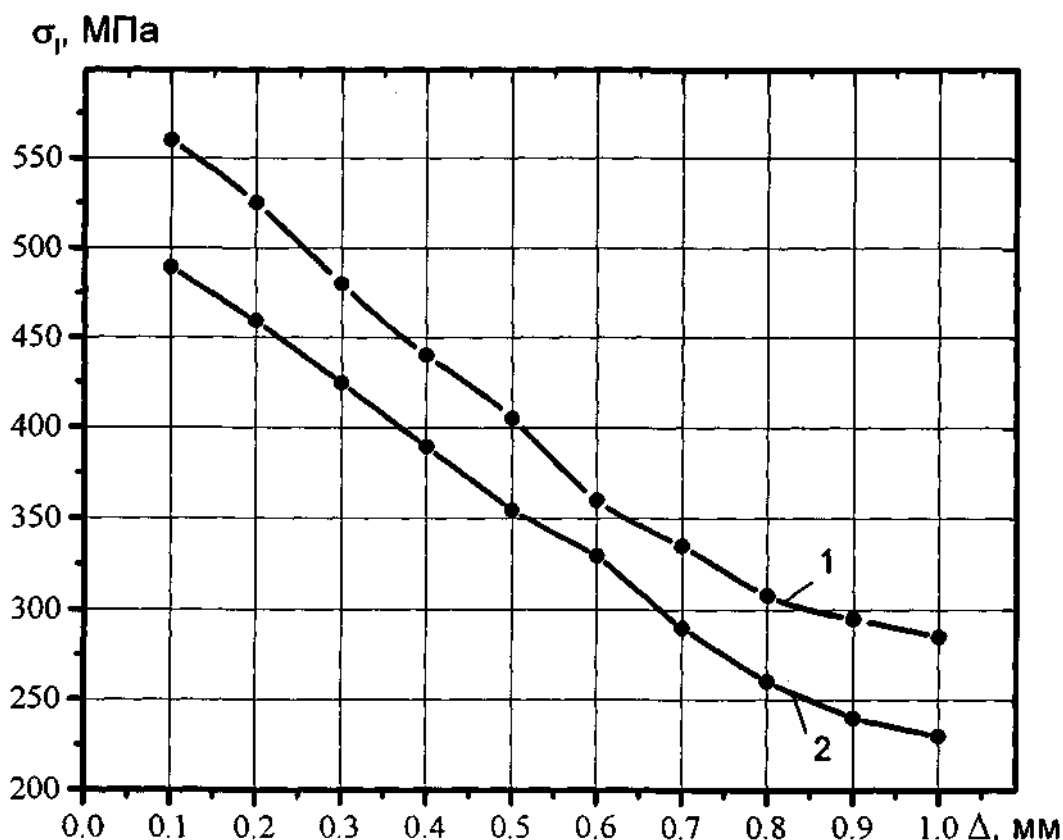


Рисунок 4.6 – Залежності зміни внутрішніх напружень σ_1 в осадах електролітичного напилення

З рис. 4.6 випливає, що внутрішні напруження σ_1 у покриттях змінюються в залежності від товщини шару і від умов електролізу: у проточному електроліті і при нестационарному електричному режимі σ_1 знижується на 8 -19 % у порівнянні зі стаціонарним електролізом. Незважаючи на очікуване зростання σ_1 із збільшенням товщини покриття, на рис. 4.6 можна спостерігати зворотне. Очевидно, це пов'язано з розтріскуванням осаду, при якому, як відомо, відбувається зниження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

68

σ_1 . Що стосується більш низького σ_1 і тим самим більш високої границі витривалості у зразків групи II, то, мабуть, це є наслідком багат шаруватості покриття. Дійсно, у початковий період за рахунок мінімальної густини струму і катодно-анодного відношення β рівного 1,5 : 2,0 осад формується практично ненапруженим, потім, зі збільшенням J і β , зростають і внутрішні напруження.

Після розгону схема автоматично переходить на постійний струм, проте густина струму збільшується до робочої (20 А/дм²) поступово, протягом заданого часу; при цьому також поступово збільшуються і σ_v . У визначений момент (для нашої схеми при Δ рівної $\approx 0,1$ мм) створюється максимальна концентрація σ_1 і починають утворюватися тріщинки. В міру збільшення електролітичного покриття кількість і глибина тріщин також зростає, що тим самим зменшує внутрішні напруження. Проте підвищення густини струму в основний період осадження позитивно впливає на σ_1 вони зменшуються внаслідок зменшення наводнення (обсяг водню знижується з 300 до 200 мл на 100 г заліза при збільшенні струму до 25 А/дм²) [20]. При струмі зі зворотними імпульсами наводнення також менше, отже і внутрішні напруження будуть, менше. Також між внутрішніми напруженнями і твердістю осадів заліза є кількісний зв'язок, що виражається рівнянням

$$\sigma_I = kH_\mu, \quad (3.30)$$

де $k = 0,115 \div 0,120$ - коефіцієнт пропорційності, знайдений експериментальним шляхом [21].

Однаковий характер впливу режимів електролізу на внутрішні напруження і твердість осадів заліза показує, що ці властивості, певно, визначаються однаковими причинами. Отже, і з позицій витривалості (як і зносостійкості) відновленої деталі, не варто прагнути до нанесення шару заліза з щонайбільшою твердістю.

Для порівняння технологій відновлення зауважимо, що зниження границі витривалості при наплавленні і газотермічному напилюванні спостерігається в більшому ступені, чим при електрохімічному залізненні. Наприклад, при вібродуговому наплавленні деталей із сталі 45 дротом С_в08 величина σ_{-1} не перевищує 150 мПа. А наплавлення в середовищі захисних газів дротами 30 ХГСА і С_в08

						0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			69

призводить до зниження σ_{-1} на 50–76 %. Останнє пов'язують з дією залишкових розтягуючих напружень величиною 50–60 МПа. При газотермічному напилюванні, наприклад покриттів із ВК15 і WC + Ni на титанові сплави ВТ8 і ВТ9, границя витривалості знижується на 50 і 38 % відповідно, а залізонікелевого сплаву на деталі із середньо-вуглецевої сталі - на 20–25 % [10].

Тому для усіх без винятку (на дійсний час) технологій відновлення стоїть задача підвищення σ_{-1} відновленої деталі наявними способами. Що ж стосується залізених корпусів букс, то практика їхньої експлуатації (на прикладі тепловозів 2ТЭ116) показує, що відмови по тріщинах (тобто по недостатньому σ_{-1}) не спостерігаються. Імовірно, значення σ_{-1} на кривій 3 рис. 4.5 достатні для надійної роботи букс за критерієм втоми.

Висновки до розділу

– Величини власне зносу δ , овальності O_v і конусності K_o внутрішньої поверхні корпусів букс колісних пар є випадковими величинами, розподілення яких підкоряються нормальному і логарифмічно-нормальному законам.

– Сумарне зношення корпусу букси обумовлено факторами експлуатаційного і технологічного зносів. Основним видом експлуатаційного зносу є корозійно-абразивне зношення, основною причиною – фретинг-корозія, яка супроводжується появою на поверхнях, що контактують, темно-бурих, або червоних плівок – оксидів заліза. Технологічний знос обумовлений зменшенням товщини стінок корпусу при верстатному усуненні овальності, конусності чи слідів корозії внутрішньої поверхні перед процесом її відновлення.

– Одержані в результаті проведених порівняльних прискорених і експлуатаційних випробувань регресійні залежності показали, що максимальна зносостійкість належить відновлювальним шаром заліза, нанесеним електролітично (величина середнього зносу $\bar{\delta}=0,58$ мм на 330 тис. км пробігу), а мінімальна – наплавленим ($\bar{\delta} = 0,70$ мм); найбільший розкид величини зносу σ_{δ} характерний для базового матеріалу, сталі 25Л ($\sigma_{\delta}= 0,33$ мм на 330 тис. км пробігу), найменший - для на-плавлених шарів ($\sigma_{\delta}= 0,27$ мм).

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

– Розроблено модель і методику формування поступових відмов за критерієм зносу, які враховують фізику явищ зношення. В результаті розрахунків по цій моделі встановлено, що значення ресурсу для корпусів букс тепловозів 2ТЭ116 склали: 339,2 тис. км для нових; 327,9 тис. км – для відновлених наплавленням; 393,49 тис. км – відновлених електролітичним залізненням.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

5 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ НАУКОВИХ РОЗРОБОК

5.1 Система-лінія позаванного відновлення корпусів букс

На основі результатів виконаних вище досліджень було розроблено чотири варіанти промислових систем-ліній (установок) відновлення корпусів букс позаванним проточним залізненням. Перший варіант передбачає використання двох рідинних (хімічно-стійких) насосів, трьохходових кранів і системи полівінілхлоридних шлангів довжиною ~ 50 м. В другому варіанті необхідно застосування одного насоса, системи з шлангових з'єднань довжиною ~ 100 м і 16 кранів. З метою зменшення кількості кранів до 8–10 і довжини шлангових з'єднань в варіанті 3 використовується самохідний візок-навантажувач. Ця система-установка забезпечує найбільший ступінь автоматизації процесу відновлення при умові високої надійності роботи системи полівінілхлоридних шлангів і кранів. Враховуючи вищевикладене, для промислової реалізації був взятий 4-й варіант лінії-установки (рис. 5.1). Остання, як і всі попередні, в повній мірі забезпечує виконання усіх операцій технологічного процесу залізнення, представленого на рис. 2.4; розглянемо коротко конструкцію і роботу цієї установки.

Установка залізнення (рис.5.1) складається з таких основних елементів: гальванічних ванн 1, самохідного візка-навантажувача 2, основи (робочого столу) 3, гнучких кислотостійких полівінілхлоридних шлангів 5, кислотостійкого насоса 6 з електроприводом 7, джерела живлення 8, кабелів 9, 11, 13, клем 10 і пульта керування 12.

Ремінна передача між насосом і електродвигуном захищена металевим корпусом, що також являється базою для кріплення насоса і електродвигуна.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

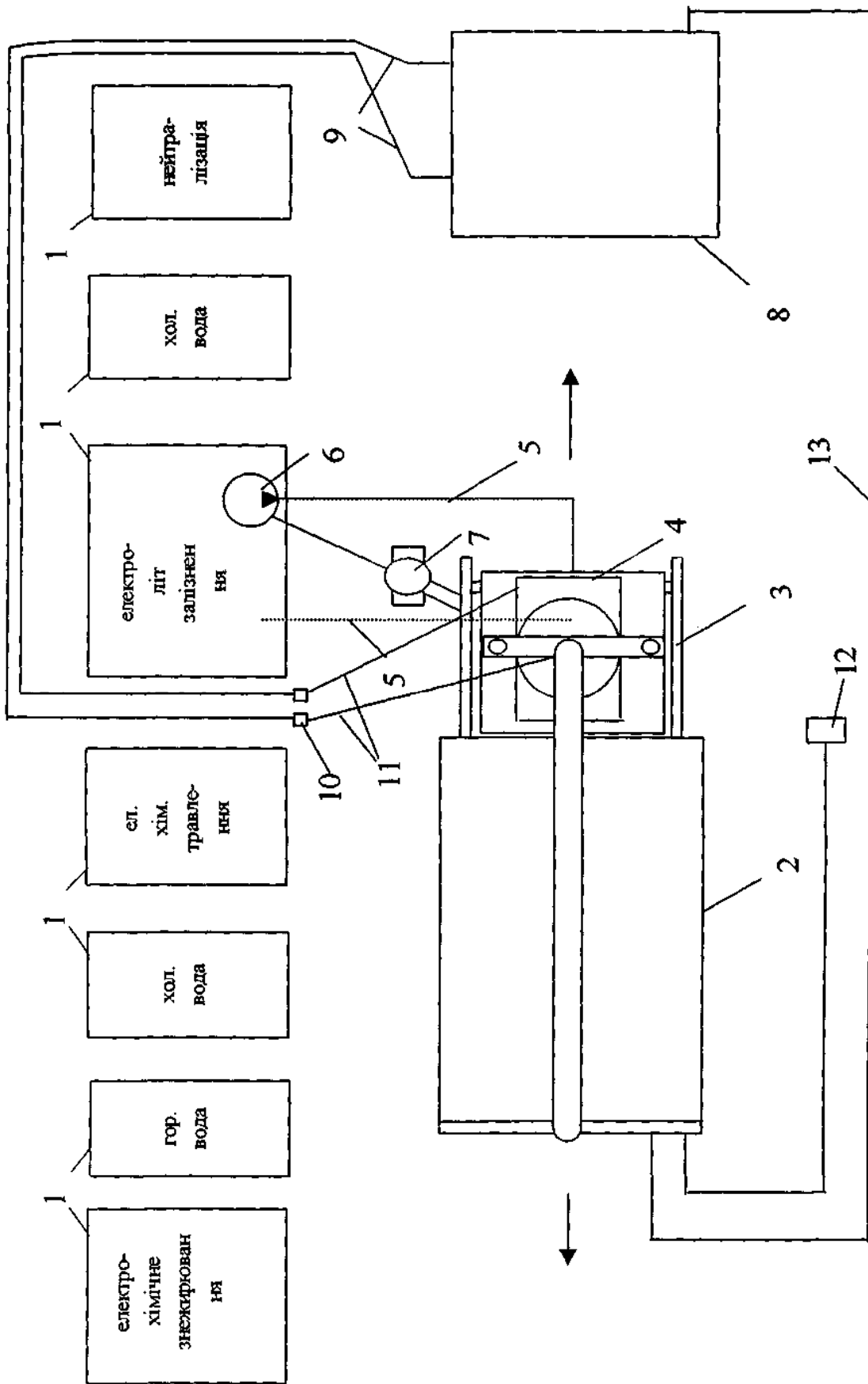


Рисунок 5.1 - Схема установки позаванного відновлення корпусів буре проточним електролітичним залізненням

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

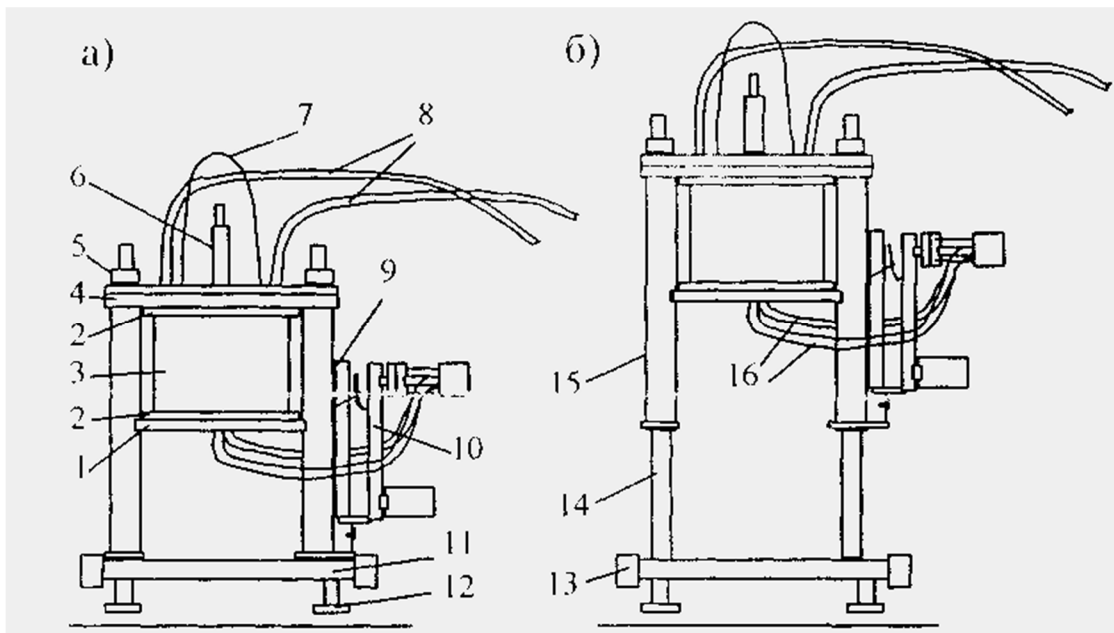


Рисунок 5.3 – Основа: а) нижнє положення; б) верхнє положення:

1 – плита основи; 2 – кислотостійка гума; 3 – букса; 4 – кришка, 5 – затискні гайки; 6 – вивід анода (катода); 7 – скоба; 8 – вивідні шланги; 9 – циліндрична стійка кріплення насосного вузла; 10 – насосний вузол; 11 – нерухома частина основи; 12 – обмежувач; 13 – боковими кріплені нерухомої частини основи до візка; 14 – направляючі; 15 – рухлива частина основи; 16 – підводні шланги.

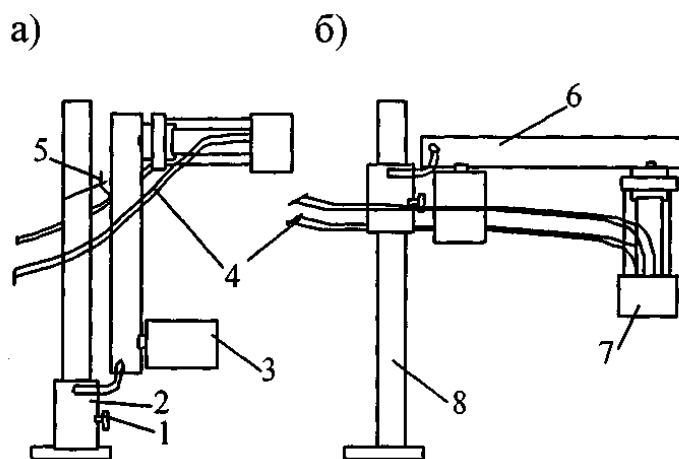


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд насосного вузла:

а) неробоче положення, б) робоче положення;

1 – фіксатор; 2 – кріплення насосного вузла; 3 – електродвигун МП-400; 4 – підводні шланги; 5 – зацеп; 6 – кришка; 7 – кислотостійкий насос; 8 – циліндрична стійка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

75

Робота установки відбувається наступним чином (рис.5.1). На основу 3 консольною кран-балкою встановлюють корпус букси 4. Цим же механізмом усередину корпусу букси встановлюють анод (катод). Зверху буксу накривають кришкою і затискають гайками. Потім вивідні гнучкі шланги і нижню частину насоса б опускають послідовно у відповідну ванну з відповідним електролітом або з промисловою водою, після чого подають живлення на привід насоса 7. Силові кабелі 11 підмикають до букси й анода (катода). Вмикають систему керування (СК) джерела живлення 8.

Електричне живлення візка здійснюється від джерела живлення. Електродвигун привода насоса одержує живлення від випрямляча, встановленого в корпус візка.

Керування візком проводиться за допомогою пульта керування (рис.5.5).

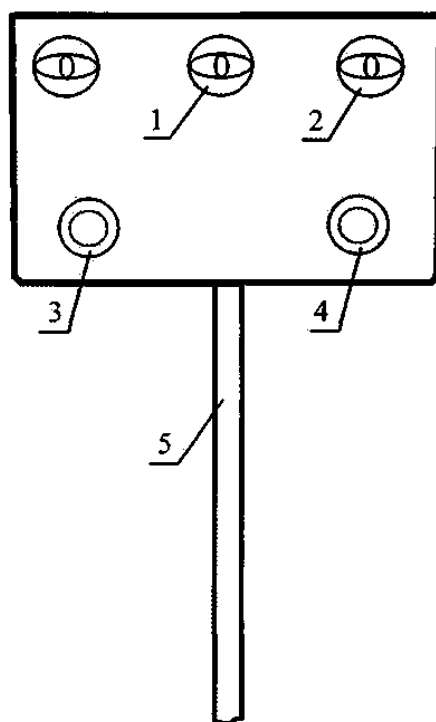


Рисунок 5.5 – Пульт керування самохідного візка-навантажувача:

1 – тумблер підйому (опускання) підйомача; 2 – тумблер керування поворотним колесом; 3 – кнопка руху візка «вперед»; 4 – кнопка руху візка «назад»; 5 – провід

По закінченні процесу залізнення, вимикають систему керування джерела (напругу з системи анод-катод знімають), після чого піднімальним механізмом візка піднімають висувну частину основи з корпусом букси й електроліт, що залишився в корпусі букси, шлангах і насосі, зливають у ванну. Основу опускають до упора униз, силові кабелі від'єднують від анода (катода) і букси. Насос опускають у воду, прокачують її через електролітичну комірку, а потім, аналогічно вищепи-саній схемі, зливають. Заключними операціями є нейтралізація з наступним проми-ванням. Потім, після опущення основи, відкручують затискні гайки, піднімальним механізмом піднімають кришку. Виймають анод (катод), корпус букси знімають, оглядають і відправляють на фінішну обробку - шліфовку.

5.2 Тиристорне джерело напруги для живлення корпусу букси як електролізера залізнення

5.2.1 Обґрунтування форми і величини напруги на промисловій ванні залізнення

У підрозділі 2.1 цієї роботи було зазначено, що процес залізнення здійснюється на асиметричному та комбінованому струмах (рис.2.5). В лабораторних умовах, тобто при малих об'ємах електролізерів, можна виготовити джерело струму з необхідними параметрами. В промислових умовах, тобто при об'ємних гальванічних ваннах, це задача складна, бо всі напівпровідникові перетворювачі працюють в режимі джерела напруги, а не джерела струму. Тому в подальшому, при переході від лабораторних дослідів до промислового впровадження, виникла задача: по заданій формі струму осадження визначити форму і параметри напруги $U_b(t)$ на гальванічній ванні залізнення. Розв'язання цієї задачі здійснено двома етапами. На першому етапі шляхом математичного моделювання процесів в промисловому електролізері оцінювали форму і параметри $U_b(t)$, а на другому – методом «перебору варіантів» уточнювали ці параметри в промислових умовах.

Як відомо, математичне моделювання, будь-яких процесів, отож і процесів електроосадження, може здійснюватися двома шляхами. Один з них – емпіричний,

					<i>0032.180138.000.02MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

метод математичного планування експерименту. Він базується на експериментально отримуваних регресійних залежностях: властивості покриття - параметри технологічного струму (або напруги). Такий підхід не враховує цілий ряд суттєвих внутрішніх властивостей системи і не розкриває їх сутності.

Регресивна модель не містить в явному вигляді інформацію про механізм електродного процесу і не дає можливості екстраполяції отриманих закономірностей на інші умови. Більш того, цей метод передбачає проведення дослідів, тобто наявність джерела живлення, параметри якого ще не відомі.

Другий шлях, на наш погляд, більш правильний – теоретичний, який базується на використанні класичних фундаментальних законів, в даному випадку електрохімії, було застосовано [17] для обґрунтування форми і величини напруги на промисловій ванні залізнення (рис. 5.6 і 5.7). В подальшому дані цих рисунків було використано при промисловому уточненні параметрів джерела напруги, яке описано в наступному підрозділі.

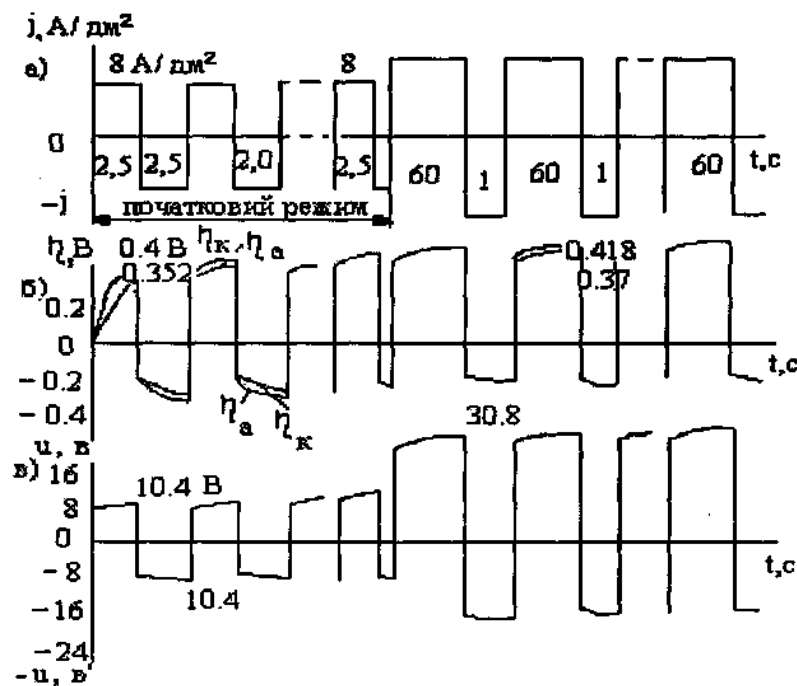


Рисунок 5.6 – Часові залежності поляризуючого реверсивного струму (а), поляризації (б) та напруги (в) на електролізері залізнення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

78

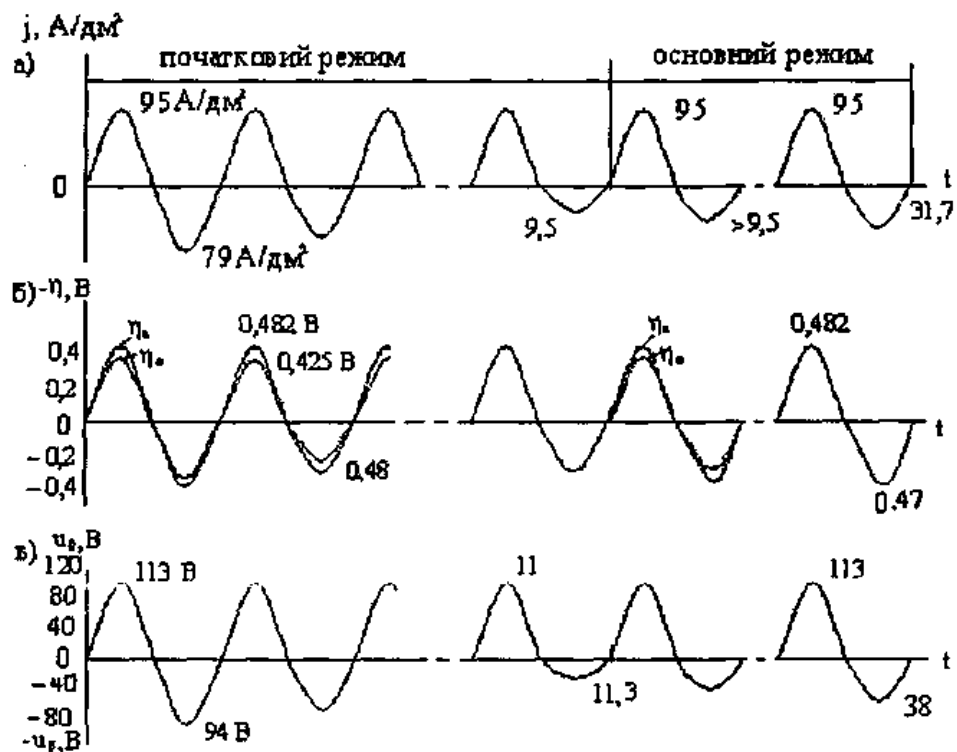


Рисунок 5.7 – Часові залежності поляризуючого програмного струму (а), електродних поляризацій (б) та напруги (в) на електролізері залізнення

Розроблене джерело дозволяє: одержувати комбінований струм, що використовується для операції залізнення; одержувати постійний струм для операції електрохімічного знежирювання й анодного травлення; забезпечувати живлення самохідного візка-навантажувача установки залізнення.

5.2.2 Основні технічні дані

Основні технічні дані тиристорного джерела напруги наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні технічні дані тиристорного джерела напруги

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Параметри	Режим роботи
Мережа що живить: – напруга, В – частота, Гц – число фаз	~220 50 3
Номінальний випрямлений струм (діапазон регулювання), В	0÷650
Номінальна випрямлена напруга (діапазон регулювання), В	0÷25
Номінальна потужність на виході, кВА	16,25
Тривалість початкового періоду при комбінованому режимі електролізу, хв	5÷10
Переключення з початкового періоду на основний 1	автоматичне
Регулювання струму	ступеневе
Схема випрямлення	трифазна
Переключення ступенів початкового періоду	автоматичне
Кількість тиристорів	6

5.2.3 Конструкція джерела живлення

Зауважимо, що при електрохімічному знежирюванні та анодному травленні тумблер перемикавання режимів струму 6 (рис. 5.8) повинний знаходитися в положенні «постійний» струм (положення «униз»), а при залізненні «комбінований» (положення «уверх»).

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

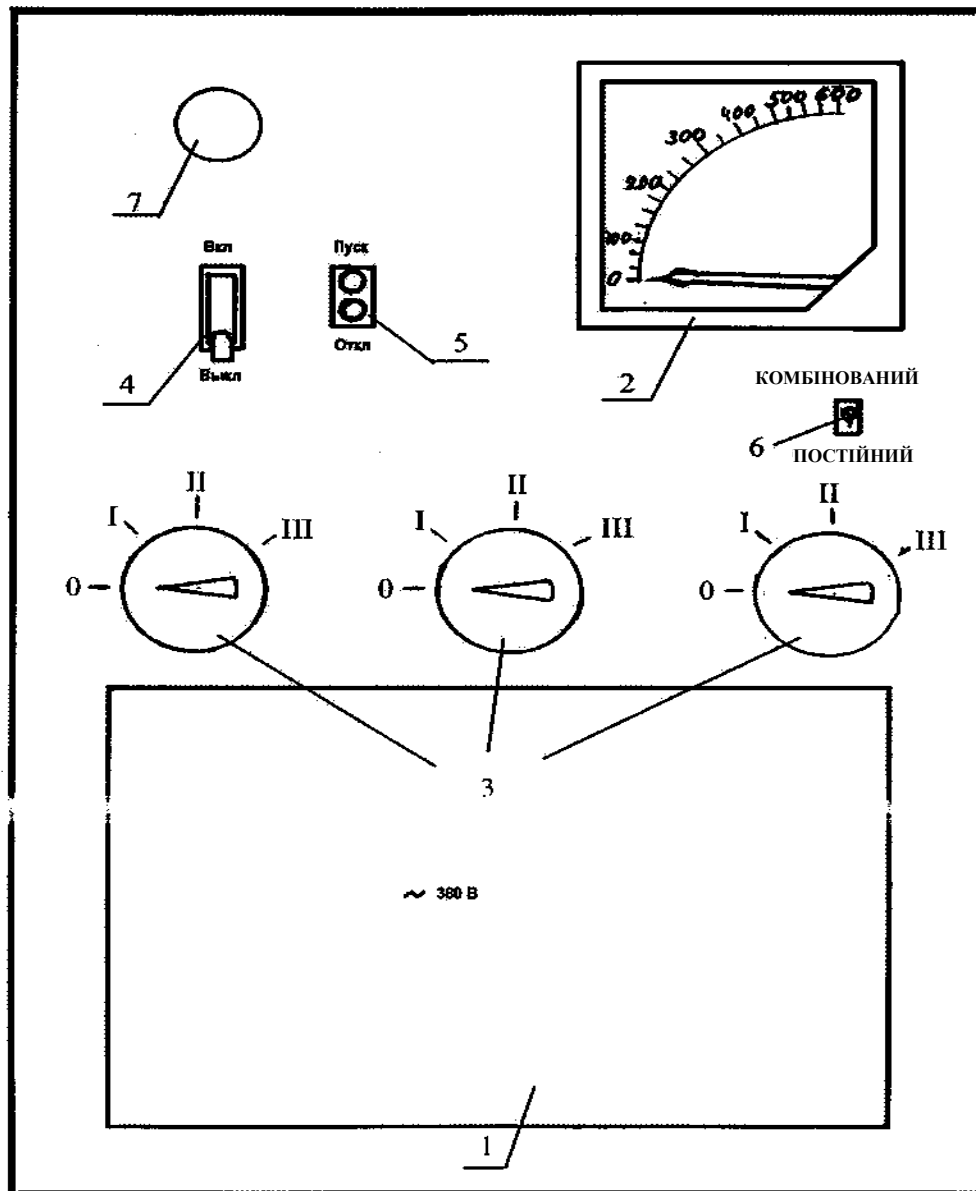


Рисунок 5.8 - Передня панель джерела живлення:

1 – двері; 2 – амперметр; 3 – ручки перемикачів; 4 – пакетний вимикач; 5 –кнопкова станція; 6 – тумблер перемикання режимів струму; 7 – сигнальна лампа.

На передній панелі встановлено: ручки перемикання, сигнальна лампа, амперметр, тумблер пакетного вимикача, кнопкова станція, тумблер перемикання струмових режимів.

Це є важливим елементом процесу, тому що при холодному залізненні, як витікає з подальшого викладання, для якісного зчеплення шару осаду з основним металом, необхідно в початковий період (до 10 хвилин) забезпечити

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

81

осадження заліза на асиметричному струмі. Джерело живлення конструктивно виконано у вигляді шафи, яка має двері з передньої сторони. У середині шафи встановлено: силовий трансформатор, тиристорний блок, система керування, пакетний вимикач, магнітний пускач, кнопкова станція, запобіжники.

5.2.4 Силова частина джерела

Схема включення – трьох пульсова, випрямляч – трифазний, включений на загальне навантаження. Силові тиристори VS1–VS3 працюють в основному режимі, VS3 бере участь у роботі схеми в початковому режимі (розгоні), формуючи пряму складову напруги.

Тиристори VS4–VS6 служать для формування зворотної складової, працюючи по черзі. Ці тиристори працюють тільки в початковий період і цілком вимикаються від роботи схеми в момент переходу на основний режим. Схему тиристорного блоку представлено на рис. 5.9.

Працює силова схема наступним чином. Спочатку на керуючі електроди тиристорів VS4–VS6 подаються одночасно керуючі імпульси. Після закінчення роботи першої ступені, керуючий сигнал з тиристора VS6 знімається і т.ін. Після закінчення початкового періоду знімається сигнал з VS4, у той же час, у момент закриття VS4 подається постійна керуюча Напруга на керуючі електроди силових тиристорів VS1–VS3. Тиристор VS6 відмикається першим, оскільки до нього прикладена більша напруга.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

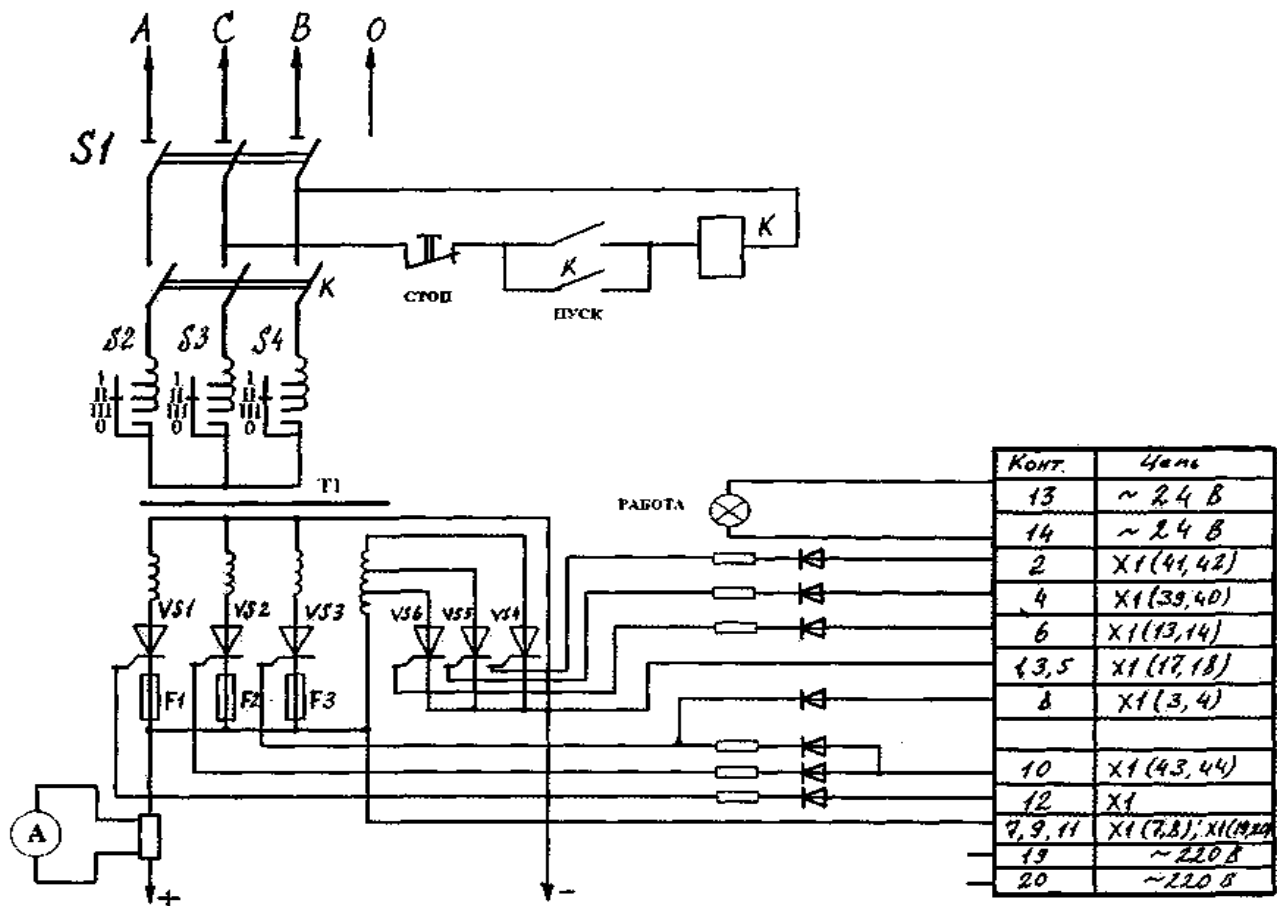


Рисунок 5.9 – Силовая схема джерела живлення

5.2.5 Система керування джерелом напруги

Система керування (СК) (рис. 5.10,) складається з наступних основних блоків: живлення БЖ, задатчика часу БЗЧ, нуль-органа НО; пристроїв, що фазоздвигують прямий ФЗП, і зворотний ФЗП₀ струми, блоків формування прямого БФП_п і оберненого БФП₀ імпульсів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

83

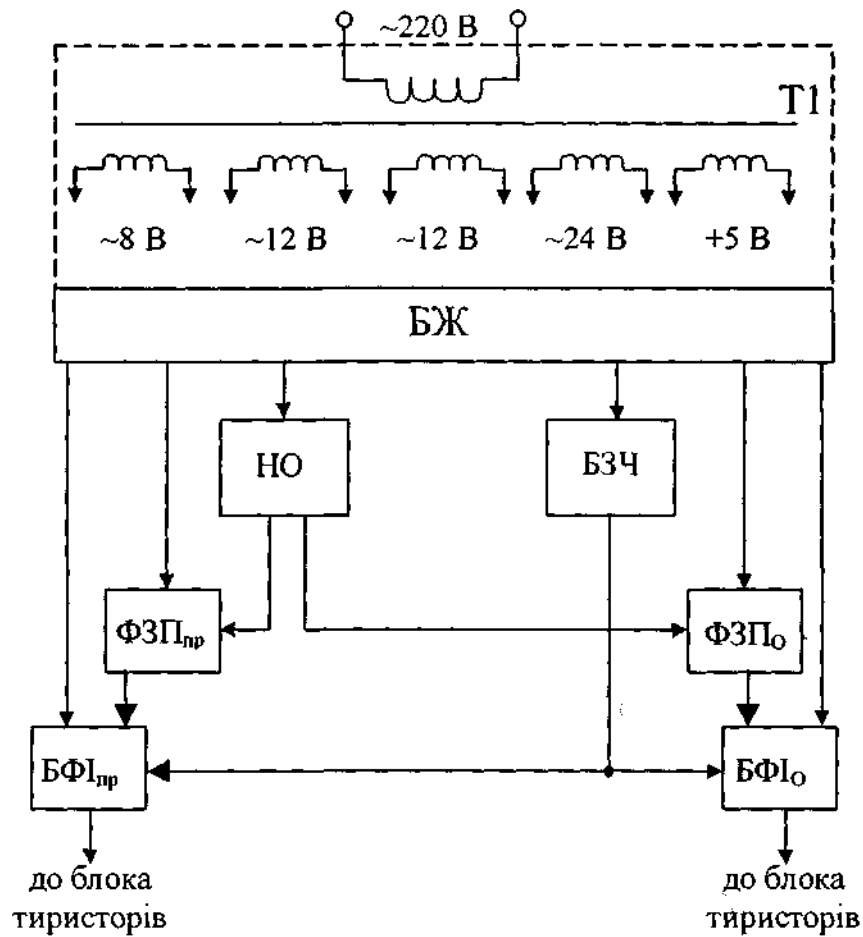


Рисунок 5.10 – Структурна схема системи керування джерелом напруги

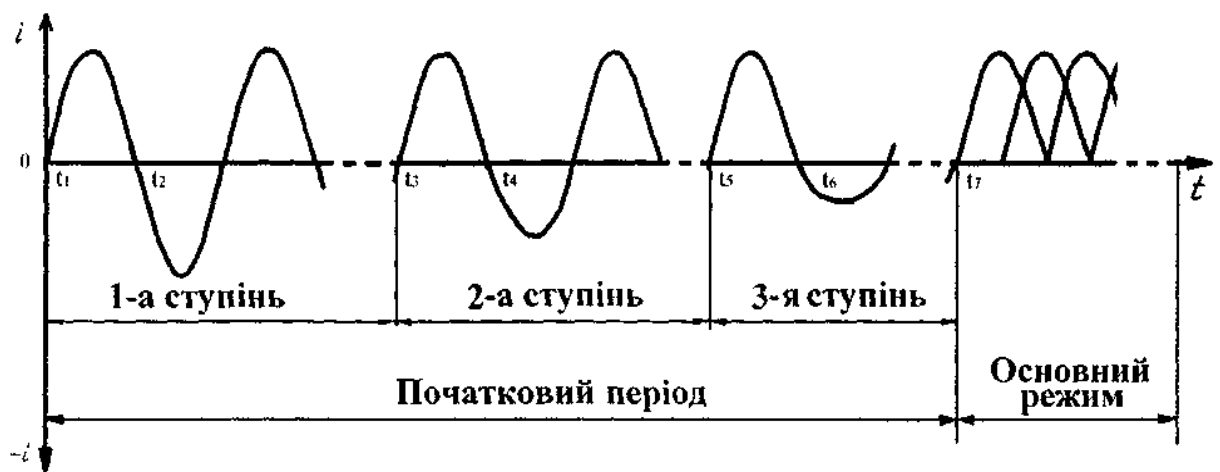


Рисунок 5.11 – Струмові режими залізнення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.180138.000.02MP.ПЗ

Арк.

84

Тиристор VS1, що відкрився в момент часу t_1 , формує на навантаженні пряму напівволну асиметричного струму, а тиристор VS6 у момент часу t_2 – зворотну (рис. 5.11).

5.3 Основні операції й ефективні режими технологічного процесу відновлення корпусів букс

Перед електролітичним залізненням на корпусі букси необхідно виконати всі ремонтні роботи. Після усунення овальності і конусності розточуванням посадкова поверхня корпусу букси шліфується і старанно очищена поступає у гальванічне відділення. Безпосередньо перед залізненням нутроміром індикаторного типу роблять виміри внутрішніх діаметрів циліндрів корпусів букс у двох взаємно перпендикулярних площинах і двох поясах на висоті 30–40 мм від нижнього і верхнього країв посадкової поверхні.

Загальну схему процесу відновлення внутрішньої циліндричної поверхні корпусів букс електролітичним залізненням подано на рис. 2.4, із якого витікає, що технологічний процес відновлення містить у собі: попереднє підготування корпусу букси; її електрохімічне очищення; власне залізнення і кінцеве опрацювання. У свою чергу, попереднє підготування складається з очистки і механічної обробки поверхні, що покривається. Як зазначалось раніше, корпус букси повинен надходити в гальванічне відділення очищений, прошліфований, без слідів іржі.

Знежирювання. Для створення якісного зчеплення покриття відновлювальних шарів заліза із металом букси поверхню корпусу хімічно знежирюють шляхом протирання бавовняними бязями з кашицевидним розчином віденського вапна і кількаразовим промиванням поверхні проточною холодною водою. Інколи це роблять електрохімічно. Електрохімічне знежирювання здійснюють в електроліті складу (г/л): сода каустична – 30–60; сода кальцинована – 40–60; тринатрійфосфат – 10–15; скло рідке – 3–5. Процес виконують на постійному струмі при густині струму 3–8А/дм², температурі електроліту 70–90°С і тривалості 5–10 хв. У якості катоду використовують нікельований циліндр. Співвідношення площ катода й

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

анода $S_a \div S_k = 1:2$. Швидкість прокачування електроліту 0,05–0,2 м/с. Після знежирювання через електролітичну комірку прокачують протягом 1 - 2 хвилин гарячу температурою 70–80°C воду, а потім холодну воду протягом 1 хвилини для промивання внутрішньої поверхні корпусу букси.

Анодна обробка виконується для розчинення тонкого дефектного шару поверхні корпусу букси, що підготовляється; для очищення поверхні від нерозчинних продуктів (анодного шламу) і створення тонкої пасивної плівки. Електролітом є розчин (г/л): кислота сірчана – 300–330; залізо сірчанокисле – 10–12. При анодному травленні внутрішньої поверхні корпусу букси в якості катода використовується свинцевий рифлений циліндр. Співвідношення площ $S_a \div S_k = 4:1$. Анодне травлення проводиться на постійному струмі густиною 20–70 А/дм², при температурі електроліту 18–25 °С; час обробки 1–3 хв. Швидкість прокачування електроліту 0,05–0,2 м/с. Після анодного травлення корпус старанно промивають проточною холодною водою протягом 2 хвилин. Швидкість прокачування промивочної води – не менше 0,2 м/с.

Власне залізнення здійснюють в електроліті складу, (г/л): залізо хлористе – 400–420; кислота соляна – до рН ~ 0,8–0,9; можливо додавання аскорбінової кислоти концентрацією ~ 1 г/л. Електроліт готують із стружки відходів маловуглецевої сталі (стали 3; 5, 10, 20). Температура електроліту – температура навколишнього середовища. Швидкість потоку електроліту регульована в границях від 0,05 до 1,5 м/с. Процес осадження заліза виконують у три операції: витримка корпусу букси з електролітом протягом 1 хвилини без струму (хімічне декапіювання); поступове збільшення густини струму (початковий період) і залізнення в основному режимі. Витримка без струму необхідна для активізації поверхні, щоб перший шар покриття осаджувався на чисту поверхню і міцно з нею зрощувався. Початковий період (розгін) при залізненні необхідний для одержання більш міцного зчеплення осаду з основою.

Використовують комбінований електричний режим: у початковий період – асиметричний струм; в основний період – постійний. Після витримки без струму вмикається джерело напруги і живлення здійснюється режимами, що подано в

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Механічна обробка корпусу букси після залізнення являється фінішною і полягає в шліфовці внутрішньої посадкової поверхні корпусу букси в розмір відповідно до вимог креслення.

Після шліфування відновленої поверхні корпусу контролюють якість покриття і розмір внутрішнього діаметра. Овальність і конусність посадкової поверхні повинні відповідати вимогам креслення.

Корпуси, відбраковані по якості відновленого шару або розміру внутрішнього діаметра циліндра, після зняття дефектного покриття механічним шляхом і активації посадкової поверхні повторно проходять підготовчі операції.

Відновлена внутрішня поверхня корпусу букси не повинна мати тріщин, раковин, відшарування покриттів, наростів, забоїн. Різновисочинність шару заліза повинна бути не більш 23 % по діаметру корпусу букси. Твердість залізного покриття повинна бути в межах 2900–6500 МПа, але не нижче твердості основного металу.

					<i>0032.180138.000.02MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		88

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі на основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива науково - технічна задача підвищення рівня надійності, продовження термінів експлуатації та здешевлення ремонту діючих тепловозів залізниць. Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації магістерської роботи полягають в наступному.

– Встановлено, що такі відповідальні за безпеку руху потягів вузли, як буксові вузли колісних пар тепловозів, є найменш надійними вузлами механічного устаткування. Основні їх пошкодження, що складають 27–29 %, відбуваються внаслідок зношення корпусів букс. В той же час на сьогодні практично відсутні технологічні процеси відновлення корпусів; найбільш зношені корпуси замінюють новими, які коштують занадто дорого: 4100–5500 грн.

– Виконано вимірювально-статистичний аналіз зношення внутрішньої поверхні нових корпусів букс, із якого витікає, що величина зносу за пробіг до ПРЗ для тепловозів серій 2ТЭ116 досягає 1,6–1,7 мм, овальність – 0,7–0,72 мм, а конусність – 0.6 мм. При цьому для всіх типів корпусів основним видом експлуатаційного зносу є корозійно-абразивне зношення, а основною причиною – фреттинг-корозія.

– Розроблено нові математичну імовірнісну модель і методику оцінки більш високих показників надійності довільного технологічного процесу відновлення, які більш точно враховують стохастичний характер зміни параметрів якості процесу і тому базуються на імовірнісних законах розподілення екстремальних значень цих параметрів. Виконано числові розрахунки показників надійності технології відновлення електrolітичним залізненням за трьома критеріями – параметрами якості нанесених відновлювальних шарів: міцністю зчеплення, мікротвердістю і товщиною.

– Розрахунками (з прогнозуванням) і подальшими промисловими експериментальними дослідженнями встановлено, що повна, тобто за трьома критеріями,

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

імовірність безвідмовної роботи технологічного процесу відновлення залізненням складає 0,81, тобто 19 % корпусів букс бракується за не виконанням допустимих значень вищезначених параметрів якості процесу. При цьому найбільший відсоток браку спостерігається за критеріями «міцність зчеплення» і «мікротвердість»: імовірність відмови процесу залізнення за кожним з них складає відповідно 0,11 і 0,065.

– Згідно регресійним залежностями, одержаним за результатами порівняльних експериментальних випробувань на зносостійкість відновлювальних шарів, нанесених різними способами: максимальна зносостійкість належить відновлювальним шарам заліза, на несеним електролітично (величина середнього зносу $\bar{\delta} = 0,58$ мм 330 тис. км пробігу), а мінімальна – наплавленим ($\bar{\delta} = 0,70$ мм), найбільший розкид величини зносу σ_{δ} характерний для базового матеріалу сталі 25Л ($\sigma_{\delta} = 0,33$ мм на 330 тис. км пробігу), найменший – для наплавлених шарів ($\sigma_{\delta} = 0,27$ мм).

– Розроблено модель і методику формування поступових відмов за критерієм зносу, які враховують фізику явищ зношення. В результаті розрахунків по цій моделі встановлено, що значення ресурсу для корпусів букс тепловозів 2ТЭ116 склали: 339,2 тис. км для нових; 327,9 тис. км – для відновлених наплавленням; 393,49 тис. км – відновлених електролітичним залізненням.

– Методом імовірнісного прогнозування визначено імовірності відмов V_D за критерієм зносу корпусів букс усіх типів досліджених тепловозів за пробіг до ПРЗ. В результаті, зокрема для тепловозів 2ТЭ116 встановлено, що величина V_D склали: 0,0769 для корпусів із базового матеріалу; 0,1778 – відновлених наплавкою і 0,0219 – відновлених електролітичним залізненням.

– Границя втоми σ_{-1} корпусів букс, відновлених металопокриттям, нанесеним будь-яким способом знижується, імовірно, внаслідок високих місцевих концентрацій напружень і більш низької пластичності. Встановлено, що значення σ_{-1} для корпусів із базової сталі 25Л дорівнює 237 МПа. Після 106 циклів границя втоми для залізнених деталей склали 204 МПа, в порівнянні з відомими в літературі

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

даними: 150 МПа – наплавлених дротом $C_6 08$ і 172 МПа – напилених залізо-нікелевим сплавом. Однак відмов по тріщинам залізних корпусів в практиці експлуатації тепловозів не спостерігалось.

– Щорічний економічний ефект від впровадження розроблених технології і установки відновлення корпусів букс склав: при ремонті тепловозів 2ТЭ116 в умовах Дніпровського тепловозоремонтного заводу 2517,1 тис. грн.

					<i>0032.180138.000.02MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		91

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фінансово-економічний та технічний стан залізничного транспорту:// Магістраль, -2021.- №20. - С. 1.
2. Сергиенко Н.И. Пути снижения эксплуатационных расходов в локомотивном хозяйстве железных дорог Украины // Залізничний транспорт України. - 2022. - №4. - С. 28 - 30.
3. Слободян А.В. На пути к укреплению финансово-экономического положения отрасли, устойчивой работы железнодорожного транспорта. // Магистраль. - 1998. - №1 - 2. - С. 2.
4. Лашко А.Д. Сохраняя и развивая производственно-технический потенциал отрасли. // Магистраль. - 1996. - №76. - С. 3.
5. Намаконов Б.В. Экономическая необходимость вторичного промышленного производства // Материалы междунар. конф. Технологии ремонта машин и механизмов: Ремонт - 98. - Часть 1. - Киев, 1998. С. 29.
6. Хэбэшеску И.Ф. Состояние и перспективы восстановления деталей в республике – Молдова: REZUMATE. – CHISINAU, 1996. - С. 6.
7. Михайленко Ю.В. Разработка и оценка надежности технологического процесса восстановления деталей электровозов гальваническим железнением: Дис... канд. техн. наук: 05.22.07. - Днепропетровск, ДГТУЖТ, 1995. -163 с.
8. Корж В.М., Топіль Ю.С. Інженерія поверхні - новий технологічний напрямок виготовлення та відновлення деталей машин та конструкцій //Сучасне машинобудування. - 1999. - № 1. - С. 92 - 94.
9. Кононов Ю.Г. Підвищення рівня надійності експлуатації та здешевлення ремонту корпусів буксових вузлів колісних пар електровозів шляхом їх відновлення позаванним проточним електролітичним залізненням: Дис... канд. техн. наук 21.01.99.01.- Дніпропетровськ, ДГТУЖТ, 1998. – 205 с.

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

10. Витязь П.А., Івашко В.С., Манойло Е.Д. и др. Теория и практика 9-й научн.-
практ. конф. Организация и технология ремонта машин, механизмов, оборудо-
вания. - Киев. - 2021. - С. 22

					0032.180138.000.02MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93