

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»


Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Технологія електролітичного хромування для відновлення  
деталей автомобіля при гідроабразивному зношуванні»

Шифр: ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ

Виконав: студент 3 курсу, група МТВАс -19-2  В.В. Нечипоров

Керівник

 д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

2 06 2022\_р.

Хмельницький, 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»  
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»  
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ

Диха О.В.

" 20 " квітня 2022 р.     

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Нечипорову Вадиму Вікторовичу

1. Тема проекту:  
«Технологія електролітичного хромування для відновлення деталей автомобіля при гідроабразивному зношуванні»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 1 березня 2022р. № 18

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) *Технічні умови на технологію виготовлення деталей кузова автомобіля обробки деталей.*
- 2) *Річна програма ремонту деталей.*
- 3) *Результати літературного огляду і патентного пошуку.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)






1. *Аналіз конструкції та умов експлуатації деталей вузла тертя автомобіля*
2. *Технологічне і лабораторне устаткування для відновлення і підвищення зносостійкості деталей газорозподільників*
3. *Технологічний процес відновлення деталей газорозподільників електролітичним хромуванням*
4. *Випробування поверхневої міцності і зносостійкості хромових покриттів*

### 5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2022р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз конструкції та умов експлуатації деталей вузла тертя автомобіля	1.05.2022	
2	Технологічне і лабораторне устаткування для відновлення і підвищення зносостійкості деталей газорозподільників	15.05.2022	
3	Технологічний процес відновлення деталей газорозподільників електrolітичним хромуванням	25.05.2022	
4	Випробування поверхневої міцності і зносостійкості хромових покриттів	5.06.2022	
5	Оформлення пояснювальної записки та презентаційних матеріалів	15.06.2022	

Студент



Нечипоров В.В.

Керівник роботи



Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 69 сторінок, кількість рисунків – 25, таблиць – 5, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 78.  
Студент гр. МТВАс-19-2 Нечипоров В.В.

**Тема «Технологія електролітичного хромування для відновлення деталей автомобіля при гідроабразивному зношуванні»**

Дана бакалаврська дипломна робота присвячена удосконаленню існуючого холодного саморегулюючого електроліту хромування та розробки технології відновлення деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні.





В дипломній роботі вирішувались наступні завдання:

1. Обґрунтоване використання електролітичного хромування як способу відновлення деталей автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні на прикладі гідророзподільників.
2. Розроблена методика вдосконалення холодного електроліту хромування, що саморегулюється.
3. Підібраний склад електроліту та режимів осадження хромових опадів з метою отримання покриттів з необхідними фізико-механічними властивостями з високою продуктивністю.
4. На основі розробленого способу одержання хромового покриття запропонована технологію відновлення золотників гідророзподільників

**Перелік ключових слів:** гідророзподільник, гідроабразивне зношування, електролітичне хромування, технологія відновлення

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ВУЗЛА ТЕРТЯ АВТОМОБІЛЯ.....	10
1.1. Аналіз працездатності автомобілів з використанням відновлених деталей тертя.....	10
1.2. Аналіз умов експлуатації та основні причини виходу з ладу деталей гідророзподільників.....	12
1.3. Характеристика електролітів хромування для відновлення деталей автомобілів.....	15
1.4. Використання холодних саморегулюючих електролітів для нанесення хромових покриттів.....	18
2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ І ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИКІВ.....	23
2.1. Устаткування для нанесення гальванічних покриттів та випробувань їх властивостей.....	23
2.2. Проект установки для електролітичного осадження хромових покриттів.....	33
3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ ХРОМУВАННЯМ.....	39

ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Нечипоров		
Перевір.		Диха		
Н.контр.		Бабак		
Затвер		Диха		
Технологія електролітичного хромування для відновлення деталей автомобіля при гідроабразивному зношуванні			Літ.	Аркуш
			4	69
ХНУ, гр. МТВАс-19-2				

4. ВИПРОБУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ МІЦНОСТІ І ЗНОСОСТІЙКОСТІ  
ХРОМОВИХ ПОКРИТЬ.....48

4.1. Дослідження міцності зчеплення хромового покриття.....48

4.2. Дослідження зносостійкості хромових покриттів.....51

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....60

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....61

Додатки.....70

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

З метою підвищення надійності вузлів та агрегатів при виробництві та ремонті автомобілів необхідно розробити раціональні способи зміцнення та відновлення ресурсовизначальних деталей. Через ринкові відносини практично зникли ремонтні підприємства, які здійснювали капітальний ремонт автомобілів та агрегатів. Експлуатація автомобілів з лізингу має високу вартість, до якої включені операції з ТО та ремонту техніки. В основному, ремонт при лізингу полягає в заміні несправних деталей або агрегатів новими або знятими з автомобілів-донорів. Автомобілі, що імпортуються автотранспортними підприємствами (АТП) України, обслуговуються та ремонтуються з використанням власної виробничо-технічної бази, яка вже не відповідає сучасним вимогам на проведення ТО та ремонту. При цьому ремонт автомобілів на АТП полягає у заміні несправної деталі новою, часто не оригінальною, знижуючи надійність, що збільшує вартість експлуатації автомобілів загалом. Тому використання відновлених оригінальних деталей, що мають високий залишковий ресурс, має важливе значення.

Так високу надійність при експлуатації агрегатів автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні, визначає якість зміцнення та відновлення деталей. Найчастіше використання запасних частин автомобілів, не належної якості, знижує ресурс агрегатів та вузлів, призводячи до відмови частіше, ніж використання відновлених деталей з використанням прогресивних технологій із витратами менше 50 %, ніж вартість нової деталі. Використання автомобілів в Україні, які мають вік понад 10 років, становить 50...80%, при цьому інтенсивність відмов сильно зростає, а вартість експлуатації збільшується в 2-3 рази порівняно з новим автомобілем. Часто після зняття з виробництва моделі автомобіля, особливо іноземного виробництва, постачання оригінальних запасних частин припиняється через 5 років. Подальше виробництво запасних частин здійснюється третіми країнами (Китай, Таїланд тощо), де якість та ресурс

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

деталей знижується на порядок. Тому відновлення оригінальних деталей, що мають необхідний залишковий ресурс, має важливе значення для забезпечення надійності та зниження витрат на експлуатацію автомобілів у цілому.

У процесі експлуатації автомобілів, що використовують гідропривід, дизельну апаратуру при виникненні несправностей його прецизійних деталей призводить до високих витрат на ремонт, що, в свою чергу, збільшує вартість експлуатації. Основна причина відмов даних деталей гідроприводу, паливних насосів (золотники, плунжера тощо) – гідроабразивне зношування. Відомо, що працездатність агрегатів, що працюють при гідроабразивному зношуванні, значною мірою залежить від якості обробки, матеріалу та способу зміцнення при виготовленні та ремонті ресурсовизначальних деталей. Тому якість робочої поверхні цих деталей значною мірою визначає безвідмовну роботу гідроагрегатів виконавчих механізмів, паливних систем дизельної апаратури, а також інших вузлів.

Так у процесі експлуатації спеціальних автомобілів знос золотників гідророзподільників є причиною відмов гідравлічної системи виконавчих механізмів (гідророзподільника, гідронасоса) у 40-50% випадках усіх відмов вузлів та агрегатів. Це викликано умовами роботи деталей – високий тиск з недостатньо добре очищеною гідравлічною рідиною при попаданні продуктів зношування та пилу. Внаслідок поздовжніх переміщень та високого тиску відбувається інтенсивне зношування та руйнування робочої поверхні деталей, із втратою працездатності гідроагрегатів та вузлів у цілому. Так, наприклад, навіть не значний знос прецизійної пари золотник-корпус призводить до падіння продуктивності та надійності гідроагрегату з наступним виходом його з ладу.

Відомо, що багато відповідальних деталей, таких як золотники гідропідсилювачів, гідророзподільників, плунжера насосів та інші, що працюють у важких умовах, виготовляють із високолегованої конструкційної сталі з малими припусками та допусками, що відкладається на вартості деталі та вузла в цілому. У зв'язку з цим до деталей при виробництві та відновленні висуваються

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

високі технологічні та економічні вимоги. Так відновлення працездатності деталей гідроприводу призведе до значної економії матеріальних витрат при ремонті агрегатів та вузлів спеціалізованої автотранспортної техніки, яка широко використовує гідропривод, знизить витрати на нові запасні частини, що часто мають знижений ресурс.

Таким чином, використання відновлених деталей, що мають досить великий залишковий ресурс, дасть можливість скоротити експлуатаційні витрати підприємств, а розробка технологій зміцнення та відновлення деталей робить доцільним їх використання, але за умови, що ресурс відновлених деталей буде не меншим за 80% ресурсу нову деталь.

Основними способами відновлення працездатності золотників гідропідсилювачів, гідророзподільників, плунжерів насосів є: перекомплектування та притирання, шліфування під ремонтні розміри, заморожування, алітування, наплавлення в рідких теплоносіях, лазерна технологія, плазмове та детонаційне напилення - літичних покриттів - хромування. Однак використання перерахованих вище методів вимагає використання обов'язкової кінцевої операції – притирання з корпусом гідропідсилювача, гідророзподільника, гільзи плунжера тощо. При цьому відбувається поверхнева температурна дія робочої поверхні, що призводить до утворення на ній мікротріщин та фреттинг-корозії, які є місцями концентрації залишкових напруг, що призводять до утворення сколів та фарбування робочої поверхні деталей. Виникнення цих процесів під час роботи, призводить до заклинювання відновленої деталі – золотника, плунжера та, як наслідок, повної втрати працездатності агрегату – гідропідсилювача, гідророзподільника, масляного та паливний насос. Крім того, слід врахувати, що вплив температури призводить до зміни структури відновленої поверхні та появи луцення та жолоблення поверхні, що в свою чергу знижує ресурс і знижує сенс використання даних методів відновлення деталі.

Враховуючи вищесказане, ясно, що при виборі способу відновлення

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні, зокрема золотників гідропідсилювачів, гідророзподільників, плунжерів паливних насосів, необхідно вибрати ті, що добре стійкі до температур, корозії та руйнування поверхонь. Тому одним з перспективних способів є – хромування в холодному електроліті, що саморегулюється, за допомогою якого виходять безтріщені, зносостійкі та корозійностійкі опади товщиною до 0,5...0,7 мм. Однак цей спосіб має недолік – складність використання у виробництві через малий діапазон робочих температур електроліту (18...23°C), що потребує постійного охолодження зі збільшенням енерговитрат.

**Мета роботи** – удосконалення існуючого холодного саморегулюючого електроліту хромування та розробки технології відновлення деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні.

З метою досягнення мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Обґрунтування доцільності відновлення деталей агрегатів та вузлів у процесі експлуатації автомобілів, що експлуатуються підприємствами комунального господарства та дорожньо-будівельного виробництва.

2. Обґрунтувати використання електролітичного хромування як способу відновлення деталей автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні на прикладі гідророзподільників.

3. Розробити методику вдосконалення холодного електроліту хромування, що саморегулюється.

4. Підібрати склад електроліту та режимів осадження хромових опадів з метою отримання покриттів з необхідними фізико-механічними властивостями з високою продуктивністю.

5. На основі розробленого нового способу одержання хромового покриття запропонувати технологію відновлення золотників гідророзподільників.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

# 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ВУЗЛА ТЕРТЯ АВТОМОБІЛЯ.

## 1.1. Аналіз працездатності автомобілів з використанням відновлених деталей тертя

Для підвищення ефективності використання автомобілів необхідно утримувати їх у працездатному стані. Це вимагає використання добре оснащеної ремонтно-обслуговуючої бази, рахунок збільшення можливостей та розвитку мережі сучасних підприємств із ремонту як вітчизняних, і іноземних автомобілів. Крім того, буде затребуваність щодо відновлення працездатності їх оригінальних ресурсовизначальних деталей.

В результаті аналізу літературних джерел було виявлено, що кількість нових запасних частин при проведенні капітального ремонту автомобілів досягає до 48÷70%. При цьому їх кількість може збільшуватися при підвищенні конструктивної складності автомобілів (Наприклад, для самоскидів КамАЗ – 60,6% та ГАЗ-3309 – 61,1%, а для смітєвозу на базі автомобіля Мерседес Бенц – 66,2%) [60]. Відновлення зношених деталей автомобілів та обладнання — техніко-економічний виправданий захід, який дозволяє автотранспортним підприємствам скоротити час простою через усунення несправностей техніки, а також підвищити якість технічного обслуговування та ремонту. Також ці заходи позитивно впливають на показники надійності автомобілів загалом під час технічної експлуатації автомобілів.

Заходи щодо підтримки у працездатному стані автомобілів можна досягти за рахунок організації роботи з відновлення деталей, за рахунок чого буде знижуватися собівартість ремонту агрегатів в цілому. Крім того, буде підвищуватися ресурс відремонтованих агрегатів, яке можна зробити за рахунок скорочення витрат на нові запасні частини.60], за яких знижуватимуться витрати на експлуатацію автомобілів на підприємствах в цілому.

Проведені академіком В.І. Чорноівановим дослідження щодо визначення

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

якості деталей автомобілів, які відновлюють та використовують повторно, дозволили отримати, що найчастіше частка однотипних деталей, які придатні для подальшого використання без ремонту, становить 20÷45%. При цьому підлягають ремонту та відновленню становить – 40÷60%, а не придатних для відновлення 9÷20%.

Відомо, що значні обсяги ремонтного фонду деталей в умовах гострого дефіциту багатьох оригінальних запасних частин, нехтувати залишковою суспільною працею вважається недоцільним.

З метою високої якості ремонту автомобілів, виникає об'єктивна необхідність організації робіт з відновлення ресурсовизначальних зношених деталей. Для таких деталей є необхідність відновлювати їх геометричний розмір та форму з метою забезпечення технічних вимог. Такими деталями у двигунів внутрішнього згоряння є – блоки та головки циліндрів та ін., у шасі – деталі ходової частини, корпуси агрегатів трансмісії та ін., у гідроприводу спеціальних автомобілів – деталі, що працюють при гідроабразивному зношуванні, такі як золотники, плунжери, штоки гідроциліндрів, корпуси насосів та золотників тощо.

Відомо, що вдосконалення способів відновлення деталей дозволяє покращувати їх як технічні, так і експлуатаційні якості за рахунок використання сучасних прийомів обробки та приробітку після відновлювальних операцій, а також за рахунок покращення геометрії посадкових та деталей, що сполучаються. Поліпшення якості відновлених деталей можна досягти за рахунок підвищення твердості та зносостійкості робочих поверхонь, які можна зробити шляхом використання нових перспективних або вдосконалення існуючих способів – напилення, наплавлення, гальванічні та полімерні покриття. Завдяки використанню даних способів відновлення, можливе, не тільки відновити розміри та форму зношеної поверхні, але й досягати значення ресурсу, що перевищують початково заявлені.

Обґрунтування вибору раціонального способу відновлення зношених

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

деталей присвячено безліч робіт, які дають змогу укласти таке:

1. Вибір способу доцільно вибирати, виходячи з умов роботи деталі та технічних вимог на виготовлення;
2. Собівартість відновлення деталі не повинна перевищувати 50% від вартості нової деталі;
3. Відновлена деталь повинна мати ресурс не менше 80% ресурсу нової деталі.

Крім перелічених вимог при виборі способу відновлення деталей автомобілів є також вимоги, але однією з них є технологічна можливість із впровадженням у виробництво. Особливо це стосується складних технологічних процесів, таких, як відновлення деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні, які виготовляються з легованої сталі з подальшою термічною обробкою, що ускладнює вибір способу відновлення.

## **1.2. Аналіз умов експлуатації та основні причини виходу з ладу деталей гідророзподільників**

При проведенні аналізу надійності гідророзподільників, що використовуються на спеціальних автомобілях, було виявлено, що ресурсовизначальним вузлом є золотникова пара. На ресурс золотникової пари має значний вплив умови експлуатації, при цьому основною причиною зниження її ресурсу є гідроабразивне зношування.

Так згідно з даними середній термін роботи гідророзподільників становить не менше 4 років, при цьому середнє напрацювання становить 4000÷6000 мото-годин. Однак, отримані дані по підприємствах, які експлуатують спеціальний автотранспорт, виникають відмови при меншому напрацюванні, що обумовлено низькою якістю обслуговування та ремонту, а також відсутністю оригінальних деталей, це відповідає отриманим результатам досліджень у роботах [52,80].

При проведенні досліджень, що виникають несправностей, що призводять

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

до втрати працездатності гідророзподільників, показав, що найбільший вплив має справність золотникової пари, яка схильна до гідроабразивного зношування (Таблиця 1.1).

Золотникова пара є основним ресурсовизначальним вузлом гідророзподільників, знос якої призводить до повної втрати працездатності агрегату. Однією з причин втрати працездатності золотників є гідро- абразивне зношування їх робочих поверхонь. Причинами гідроабразивного зношування є: недостатня твердість поверхні, велика шорсткість, наявність мікротріщин та ін.

Таблиця 1.1 - Види дефектів гідророзподільників, що призводять до втрати працездатності

№ п/п	Дефект	Кількість виникаючих несправностей, раз.	Частка дефектів, %
1.	Втрата герметичності	45	22,06
2.	Втрата регулювання запобіжних клапанів	41	20,10
3.	Знос золотникової пари	45	22,06
4.	Знос запобіжних клапанів	14	6,86
5.	Знос зворотних клапанів	12	5,88
6.	Порушення цілісності ущільнень золотників	12	5,88
7.	Поломка зворотної пружини золотників	6	2,94
8.	Поломка пружини клапана в золотнику ходу	5	2,46
9.	Подряпини робочої поверхні золотників	4	1,96
10.	Інші дефекти	20	9,80
	Усього	204	100

Відомо, що поверхнева обробка та зміцнення відіграють значну роль при виготовленні та зміцненні деталей автомобілів, які схильні до різних видів зношування, при яких гідроабразивне призводить до найбільших зносів робочих поверхонь золотників.

Розглянемо процеси, що відбуваються при гідроабразивному зношуванні деталей. Зношування робочої поверхні відбувається при високих тисках, у поєднанні з наявністю частинок продуктів зносу в рідині через погану фільтрацію або перевищення інтервалу заміни масла при обслуговуванні техніки.

При цьому на поверхні виникають високі тиски з абразивним впливом твердих частинок. Тому дані деталі піддають поверхневому загартування.

Однак для надійної роботи деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні, необхідно, щоб шорсткість була не вище 0,16 ... 0,32 мкм, так як збільшення висоти нерівностей може призводити до прискореної фреттинг-корозії. Це пов'язано з пошкодженням поверхні золотника через високий тиск контакту та переміщення з руйнуванням захисної окисної плівки металу. При цьому виникають процеси окисного руйнування зі збільшенням осередку на поверхні контакту.

Також одним із факторів, що впливають на працездатність золотника, є наявність мікротріщин на робочій поверхні деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні. Так наявність тріщин є однією з причин руйнування та високого зносу золотників. Це пояснюється тим, що в процесі роботи високий тиск і наявність абразивних частинок у гідравлічній олії може призводити до концентрації високого тиску в тріщинах та поступового збільшення її розмірів з подальшим аварійним руйнуванням робочої поверхні золотника. Також це можна пояснити можливістю виникнення кавітаційних процесів та «схлопування» бульбашок при великому тиску, що призводить до гідродударів в області тріщини та її зростання до критичних розмірів.

Внаслідок специфіки роботи деталей, при гідроабразивному зношуванні

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

необхідно врахувати, передбачити та вибрати той спосіб відновлення, який дозволить виключити дефекти поверхонь, які можуть призвести до втрати працездатності деталі та надійності агрегату в цілому. Тому при відновленні деталей автомобілів пред'являються наступні вимоги:

1. Товщина та шорсткість покриття при відновленні деталі повинна задовольняти технічним вимогам;
2. Не повинно бути тріщин на робочій поверхні деталей;
3. Вартість відновлення деталі не повинна перевищувати 75-80% від вартості нової деталі.

Так одним з перспективних способів відновлення, деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні, зокрема, що підвищують працездатність гідророзподільників у цілому, є електролітичне хромування.

### **1.3. Характеристика електролітів хромування для відновлення деталей автомобілів**

Виконаний аналіз літературних джерел та ряд робіт дослідників було проаналізовано використання електролітичного хромування як відновлення деталей автомобілів. Було встановлено, що через складність впровадження у виробництва та великих енергетичних витрат широкого застосування електролітичного хромування для відновлення деталей автомобілів не отримало, більшою мірою як декоративні та антикорозійних покриттів. Однак хромовані покриття мають такі переваги:

- висока мікротвердість (4000÷12000 МПа);
- висока зносостійкість, що перевищує еталонні пари тертя у кілька разів;
- відсутність термічного впливу на поверхню деталі, що виключає зниження міцності втоми;
- холодостійкість;

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- досить висока міцність зчеплення з поверхнею деталі та ін.

Відомо, що для отримання хромових покриттів обов'язковою умовою є наявність двох основних компонентів – хромового ангідриду та постійних аніонів.

При цьому концентрація хромового ангідриду в електроліті хромування може варіюватися в межах  $50 \div 700$  г/л. Особливе значення для отримання хромових покриттів з певною якістю та продуктивністю має різна концентрація сторонніх аніонів. При цьому їх кількість по відношенню до хромового ангідриду відіграє важливу роль у процесі формування хромового покриття із заданими властивостями та продуктивністю. У процесі роботи ванни хромування вони разом з хромовим ангідридом витрачаються, змінюючи концентрацію в розчині електроліту, що призводить до змін якості покриттів та продуктивності. Тому розробки нового складу електроліту їм приділяється особливу увагу.

Використання електролітичного хромування, як відновлення деталей автомобілів через позитивні переваги, описані вище, дозволяє збільшувати ресурс деталей, особливо це стосується деталей, які мають високий залишковий ресурс. Однак широкого поширення для відновлення деталей автомобілів електролітичне хромування не отримало на увазі малої товщини одержуваних якісних покриттів ( $0,1 \div 0,3$  мм) [3].

Проведений дослідження сучасних автомобілів, а також прецизійних деталей показав, що граничні зношення деталей вузлів та агрегатів автомобілів, що призводять до втрати працездатності, знаходяться в межах  $0,1 \div 0,5$  мм. Використання вдосконалених технологій електролітичного хромування дозволяють отримувати хромові покриття товщиною до  $0,7$  мм з високою продуктивністю, що відкриває можливість використовувати його як спосіб відновлення [39].

Тому пошук та вдосконалення електролітичного хромування з метою збільшення товщини якісних покриттів з високою продуктивністю є головним завданням авторемонтного виробництва з метою зниження витрат на ремонт та

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

відновлення працездатності агрегатів.

Дослідження щодо вдосконалення процесу хромування для авторемонтного виробництва займалися вчені як Кудрявцев Н.Т., Петров Ю.М., Лайнер В.І. та ін.

Даними авторами було виявлено, що використання хромування як зміцнення та відновлення деталей автомобілів дозволить збільшити міжремонтний період у кілька разів, що знизить експлуатаційні витрати автомобілів загалом. Тому кількість деталей, які можна відновлювати електролітичним хромуванням, постійно збільшується.

В результаті проведеного аналізу матеріалу виявлено, що одним з перспективних способів відновлення та зміцнення деталей автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні – є хромування.

Використання хромування як спосіб відновлення, були визначені перешкоди, які ускладнюють широке використання в ремонті деталей автомобілів. Важливою умовою використання хромування є продуктивність процесу за умови отримання покриттів із необхідною якістю.

Однією з важливих проблем використання є екологічна складова та шкідливі умови роботи робітників у гальванічному підрозділі. Тому для вирішення цієї проблеми необхідно розробляти технології з використанням хромування, які дозволять використовувати електроліти з високою довговічністю та з найменшим винесенням електроліту з метою покращення умов праці.

Тому було визначено основні напрями щодо проведення досліджень з покращення якості та збільшення продуктивності отримання хромових покриттів – використання різних органічних та неорганічних добавок у поєднанні зі зміною складу та вибору оптимальних режимів електролізу. Однак дані електроліти не отримали широкого використання через складність впровадження у виробництво та відсутність рекомендацій практичного використання для відновлення деталей. Тому подальші дослідження проводили електролітів хромування добрими

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

фізико-механічними властивостями і високою продуктивністю, що мають перспективи практичного використання – холодні саморегулюючі електроліти хромування.

#### **1.4. Використання холодних саморегулюючих електролітів для нанесення хромових покриттів**

На підставі виконаного аналізу робіт було встановлено, що одними з перспективних електролітів хромування є холодні саморегулюючі електроліти хромування, які мають ряд переваг: висока продуктивність і здатність розсіювати, поліпшення умов праці (через менше випаровування), зниження викидів в навколишнє середовище завдяки низькій робочій температурі. Крім того, при використанні даних електролітів знижується накопичення внутрішніх напружень при отриманні меншою пористістю та тріщинуватістю, що робить можливим використовувати даний електроліт для відновлення деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні.

Розглянемо деякі холодні електроліти хромування та порівняємо їх між собою, а також із універсальним (стандартним) електролітом, найпоширенішим у виробництві.

Холодний електроліт типу тетрахроматного був розроблений у Кишинівському сільськогосподарському інституті для відновлення деталей автомобілів, тракторів, дорожньо-будівельної техніки та інших машин. При його використанні, можливо, отримувати якісні тріщинуваті опади, з мікротвердістю 8300÷9500 МПа, при цьому вихід струму досягає 40%, при максимально можливій товщині якісного покриття, що отримується 0,7 мм.

Даний електроліт не вимагає підігріву, має високу криючу та розсіювальну здатність, має наступний склад, г/л: хромовий ангідрид 350÷400, сірчана кислота 2,5÷2,7, гідроксид натрію 50÷60 г/л. Режимми використання такі: робоча

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

температура електроліту  $18 \div 22^{\circ}\text{C}$  та катодна щільність струму  $10 \div 80 \text{ А/дм}^2$ . Дотримання даних режимів дає можливість отримувати якісні опади з високим виходом хрому струмом  $30 \div 35 \%$ .

Дані покриття можна використовувати при відновленні деталей, де необхідна постійна наявність мастила при роботі, наприклад, гільзи циліндрів, шийки валів під підшипники і т.д. При цьому зносостійкість даних покриттів близька за властивостями хромових опадів, що одержуються зі стандартного (універсального) електроліту. Проте обмеженням використання їх у виробництві є такі причини:

1. Малий діапазон робочих температур ( $18 \div 23^{\circ}\text{C}$ ), а при збільшенні температури покриття виходять крихкими з великою сіткою мікротріщин;
2. Потрібно використовувати додаткові потужності для охолодження електроліту (холодильні установки), які збільшують енерговитрати;
3. Висока агресивність розчину електроліту.

Для вибору базового електроліту для проведення досліджень було проведено існуючі перспективні холодні електроліти хромування, що саморегулюються.

Автором Перак М. був розроблений саморегулюючий електроліт хромування, що містить  $\text{CrO}_3$  і добавку Chromispel-1. З метою збільшення виходу струму хрому вводили в даний електроліт у вигляді іонів наступні добавки: сполуки ванадію (V), молібдену (Mo) та вольфраму (W). При цьому оптимальний склад електроліту вийшов наступний: хромовий ангідрид у кількості  $100 \div 1000 \text{ г/л}$ , йодова кислота у кількості  $10 \div 350 \text{ г/л}$ . Режими осадження використовувалися наступні: щільність струму від 50 до  $300 \text{ А/дм}^2$  при робочій температурі електроліту  $18 \div 25^{\circ}\text{C}$ .

Подальше збільшення щільності струму призводило до різкого зменшення виходу струму. Однак збільшення щільності струму більше  $100 \text{ А/дм}^2$  відбувалося через деякий час падіння напруги і через зниження виходу по струму, це ймовірно обумовлено появою на анодах плівки, яка збільшувала опір і

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

внаслідок і падіння напруги.

Однак вивчення розроблених холодних електролітів хромування, що саморегулюються, виділило холодний саморегулюючий електроліт хромування (ХСЕХ), розроблений Ковбасюком А.І. в 1972 р. Цей електроліт має високу продуктивність осадження і розсіювальну здатність, при цьому осадження відбувається при широкому діапазоні щільностей струму в межах  $75 \div 300$  А/дм<sup>2</sup>, при цьому даний електроліт має малу агресивності розчину.

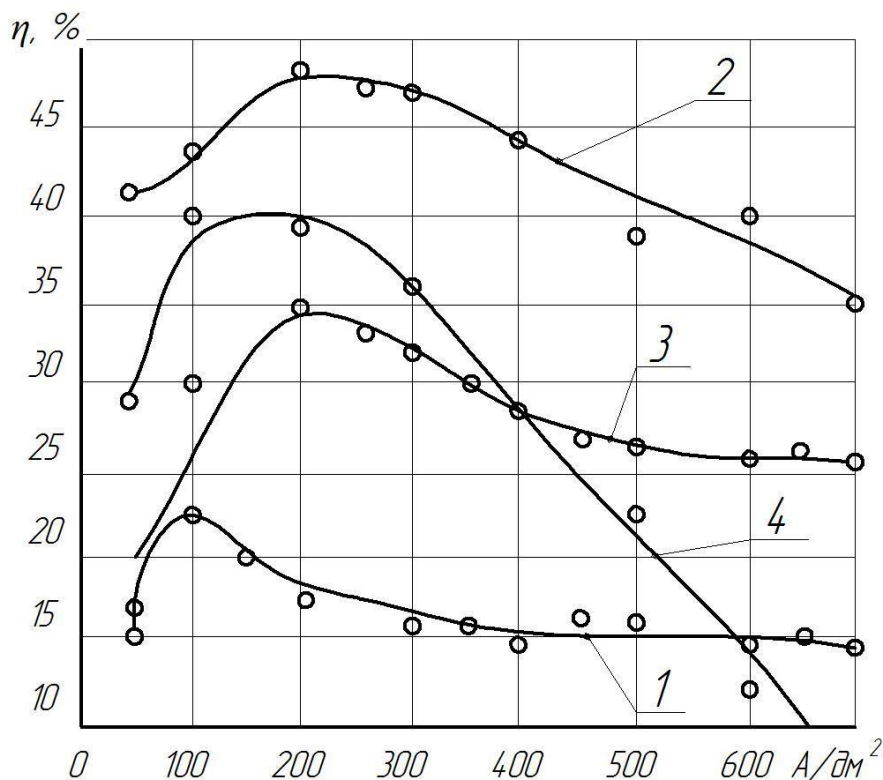


Рисунок 1.1 – Вплив катодної щільності струму (А/дм<sup>2</sup>) на продуктивність процесу осадження (вихід хрому по струму, %) в електролітах: 1 – сульфатно-кремнефторидний; 2 - Chromispel-1; 3 – універсального; 4 - холодного саморегульованого

Даний розроблений електроліт був отриманий в результаті проведення досліджень впливу неорганічної добавки сульфату кобальту, при якому вийшов високопродуктивний холодний електроліт хромування з іонами  $Co^{2+}$ , наступного складу, г/л: хромовий ангідрид –  $400 \div 420$ , карбонат кальцію –  $67 \div 75$

та сульфату кобальту –  $15 \div 20$ . При цьому робоча температура розчину була у вузькому інтервалі –  $18 \div 23^\circ\text{C}$ . Вихід хрому струмом досягає  $40 \pm 1\%$ , швидкість осадження  $130 \div 550$  мкм/год, при мікротвердості опадів  $8500 \div 11500$  МПа [58].

Завдяки високим фізико-механічним властивостям і високій продуктивності цей електроліт можна використовувати для відновлення деталей автомобілів. Однак для деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні була одна труднощі – наявність невеликої кількості на поверхні стеки мікротріщин, що виключало використання для відновлення даних деталей. Тому вимагало проведення подальших досліджень з удосконалення холодного саморегулюючого електроліту хромування.

Для визначення оптимального складу електроліту в якості базового було обрано холодний саморегулюючий електроліт хромування з неорганічними добавками нікелю сульфату і плавикової кислоти.

Для проведення досліджень концентрацію складових електроліту змінювали, в г/л:  $\text{CrO}_3$  –  $250 \dots 500$  через кожні  $25 \div 50$  г/л;  $\text{CaCO}_3$  -  $0 \dots 80$ , через 5 г / л; сульфат нікелю семи водного ( $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) –  $5 \dots 10$  та  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  –  $5 \dots 10$  через кожні 2,5 г/л, а плавикової кислоти ( $\text{HF}$ ) –  $0 \dots 2$  через кожні 0,05 г/л.

Електроліти хромування готувалися на дистильованій воді з хімічних реактивів кваліфікації ХЧ і ЧДА.

У посудину з відомим об'ємом засипали наважку хромового ангідриду, необхідну для отримання дослідної концентрації хромової кислоти; приливали воду –  $2/3$  обсягу; обережно, дрібними порціями присипали вуглекислий кальцій, не чекаючи повного розчинення хромового ангідриду; потім вводили компонент, що містить аніон - "каталізатор" ( $\text{SO}_4$ ). Щільність розчину вимірювалася ареометром за температури  $20^\circ\text{C}$ .

Оптимальні склад електроліту та режими електролізу (з точки зору продуктивності процесу хромування) відпрацьовувалися шляхом зміни концентрації компонентів, катодної щільності струму та температури. Потім

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

одержаний розчин присипали дослідну кількість однієї із зазначених добавок.

Хромові покриття наносилися на зразки кількох груп, які виготовлялися для проведення досліджень та визначення:

1. Кількісного значення виходу хрому по струму та швидкості осадження металу;
2. Мікротвердості поверхні та за товщиною хромових опадів;
3. Фазового складу електролітичного хрому;
4. Зносостійкості хромових покриттів;
5. Міцність зчеплення покриттів з підкладкою та мікроструктури.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ І ЛАБОРАТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИКІВ

### 2.1. Устаткування для нанесення гальванічних покриттів та випробувань їх властивостей

Лабораторні дослідження з метою дослідження найефективніших умов електролізу (з точки зору швидкості нарощування шару хрому та якості покриттів) проводились у стаціонарній ванні.

Комплект робочого обладнання складав:

1. Ванни хромування ємністю 3 та 8 л.
2. Джерела живлення.
3. Установа для автоматичного регулювання та підтримання робочої температури розчину.
5. Електроцит з пусковою, регулювальною і контрольно-вимірювальною апаратурою.
6. Ванна ємністю 5 л для електрохімічного травлення зразків.

Ванни – скляні хіміко- та теплостійкі та вініпластові. В середині кожної з них вмонтований змішувик-теплообмінник, виготовлений із сталеві трубки. До кожної групи зразків відповідно були виготовлені спеціальні підвісні пристосування та свинцеві аноди (свинець із вмістом 6% сурми та 5% олова). Відношення площі катода до анода змінювалося від 1:2 до 1:4, а міжелектродні відстані – 50...100 мм.

Зразки виготовлялися зі Сталі 45 ГОСТ 1050-88, циліндричної форми діаметром 12 мм, які показані на малюнку 3.1, із загальною площею поверхні, що покривається 0,075 дм<sup>2</sup> в стаціонарній ванні об'ємом 3 л. Живлення електролізера здійснювалося від джерела постійного струму з двонапівперіодною схемою випрямлення. Перед нанесенням електролітичних

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

покриттів зразки піддавали знежиренню у віденському вапні та анодному травленню у 30% водному розчині сірчаної кислоти з добавкою солі сульфату заліза у кількості 15÷20 г/л при температурі електроліту травлення  $20\pm 1^\circ\text{C}$ . Всі зразки після знежирення та травлення ретельно промивались у дистильованій воді та просушувалися.

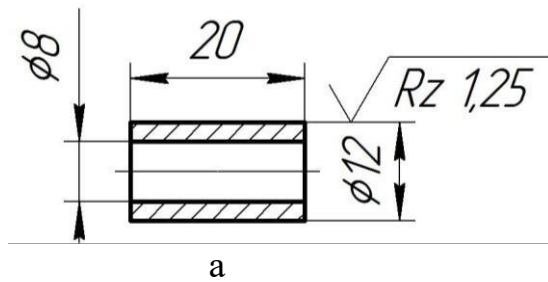
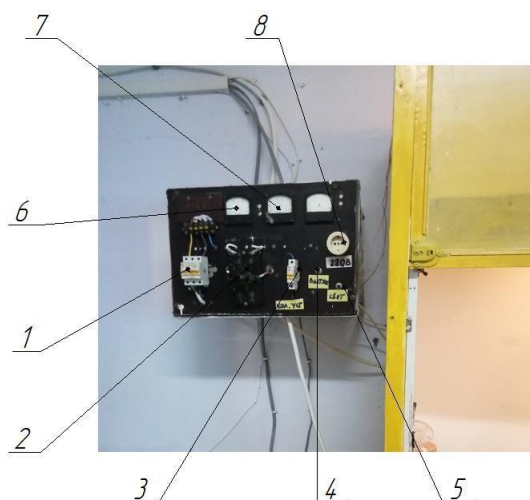


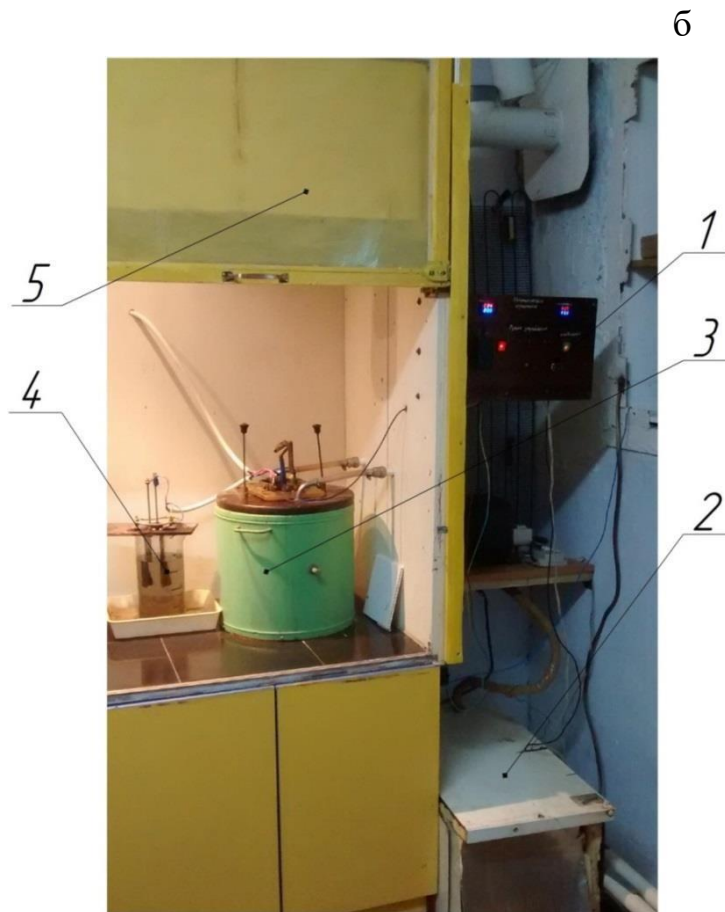
Рисунок 2.1 – Зразок-втулка: а – креслення, б – покриті хромом

Експериментальна установка була виготовлена спеціально для досліджень та обладнана необхідними пристроями, пристроями та приладами. Зовнішній вигляд установки хромування та щита керування представлений на малюнку 3.2.

При проведенні досліджень катодну щільність струму (Дк) змінювали від 50 до 250 А/дм<sup>2</sup> та температуру електроліту (Тел.) від 18 до 40°C, через кожні 2,5...5°C, з точністю  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Зміни та контроль температури електроліту здійснювалися за допомогою розробленої установки для підтримки робочої температури електроліту [89].



					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25



А

Рисунок 2.2 – Установка для досліджень гальванічних покриттів хрому: а – установка для підтримання заданих температурних режимів: 1 – пульт управління установкою з контролю та підтримання температури електроліту, 2 – ємність охолоджувача, 3 - бак з ванною для хромування, 4 - ванна для травлення, 5 - витяжна шафа; б – пульт керування установкою для хромування: 1 – трифазний автомат, 2 – ключ керування електролізом, 3 – однофазний автомат установки з контролю та підтримання температури, 4 – тумблер увімкнення витяжки у шафі, 5 – тумблер увімкнення освітлення у шафі, 6 – вольт-метр, 7 – амперметр, 8 – розетка на 220 В.

Після сушіння зразки зважувалися на терезах 1 класу точності ВАЛ-200 з точністю до 10-5 г і визначався вихід хрому по струму. Мікрометр МК 0-25 по ГОСТ 6507-90 вимірювалася товщина покриття як непрямого показника виходу

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

по струму.

Режим електролізу наступний: травлення -  $TAK = 120 \dots 130 \text{ А / дм}^2$ , протягом 1,5 ... 2 хв. Декапування в електроліті хромування -  $TAK = 50 \dots 200 \text{ А / дм}^2$ , протягом 30-60 с. Хромування проводилося у діапазоні щільностей струму –  $Dk=50\dots250 \text{ А/дм}^2$ , з температурним режимом електролізу –  $t_{el}=18\dots40\text{оС}$ . Анодне травлення в електроліті хромування після завершення електролізу –  $DA=50\dots250 \text{ А/дм}^2$ , протягом 1,5...2 хв – для зняття міжелектродних напруг у хромовому покритті.

Після проведення осадження хрому, зразки ретельно промивалися в теплій і холодній дистильованій воді, потім просушувалися на повітрі протягом 1 години і далі поміщалися в муфельну піч і просушувалися при температурі  $200\pm15\text{оС}$  з метою виведення водню з хромованої поверхні. властивостей покриття. Процес проводили протягом 1...1,2 години.

Величину мікротвердості визначали за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3 з навантаженням на індентор 0,98 Н (відповідно до ГОСТ 9450-60) при товщині покриття понад 200 мкм.

Для дослідження морфології покриття використовували оптичний мікроскоп ММУ-3 із цифровою приставкою для під'єднання комп'ютера (Рисунок 3.3), при використанні якої виходило 250, 600 та 1000 кратне збільшення зображення. Оцінка якості хромового покриття проводилася за величиною мікротвердості, відсутність дендритів і магістральних наскрізних тріщин на хромованій поверхні.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



а

б

Рисунок 2.3 – Мікроскоп ММУ-3 з цифровою приставкою: а – вид мікроскопа з цифровою приставкою; б - підключена приставка до персонального комп'ютера.

Для виготовлення мікрошліфів хромувалися зразки на товщину 0,2...0,5 мм. Вивченню тріщинуватості та мікротвердості хромових покриттів вивчалось за допомогою мікроскопа ММУ-3 з приставкою для оцифрування зображення на комп'ютер. Для вивчення мікроструктури за товщиною хромових покриттів виготовлялися мікрошліфи, які для наочного визначення хромового покриття попередньо перед вивченням протравлювалися у 30% розчині хромового ангідриду, при зворотній полярності струму протягом 7-10 с.

Перевірка міцності зчеплення хромового покриття з основною деталлю здійснювалася у вигляді багаторазового запресування та випресування підшипників за допомогою ручного гідравлічного преса з зусиллям 10 тс по ГОСТ-9.302-88 з використанням оправки для запресування-випресування підшипника.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рисунок 2.4 – Прес на 10 тс із оправкою для випробувань на міцність зчеплення

Як зразок досліджень використовували вал, виготовлений з матеріалу Сталь 45 ГОСТ-1050-88, з обробленою шийкою під покриття номінальним діаметром 1960 мм, товщина покриття 025-030 мм. Контртіло – підшипник кульковий, радіально-упорний №204 ГОСТ 831-75. Хромування здійснювалося до діаметра 20,1 ... 20,2 мм. Після хромування шийки валу шліфували до діаметра 20,04...20,05 мм (Рисунок 3.5).

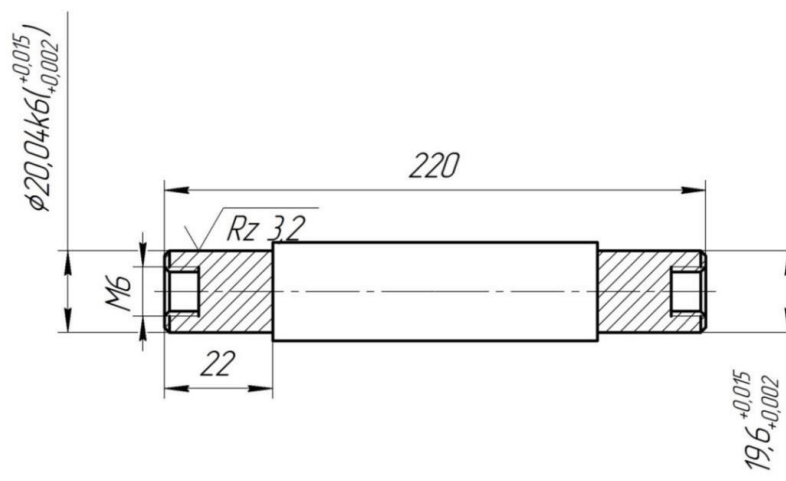


Рисунок 2.5 – Креслення валу, для випробування на міцність зчеплення

Оцінку порівняльної зносостійкості електролітичних хромових покриттів, обложених з розробленого електроліту, виконували за допомогою машини тертя

						ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			29

СМЦ-2М за ГОСТ 23.224-86 з використанням цифрового осцилографа (Рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Машина тертя СМЦ-2М для випробування хромових покриттів на знос

Як зразки служили ролики діаметром 49,6 мм і довжиною 12 мм, виготовлені зі сталі 40Х і хромовані на товщину 0,30...0,35 мм з розрахунку, щоб після механічної обробки розмір їх діаметра становив  $\text{Ø}50+0,01$  мм (Рисунок 2.7 та 2.8).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



Рисунок 2.7 – Креслення ролик-колодка для випробувань на знос



А



Б

Рисунок 2.8 – Фото зразків для випробувань на зношування: а – ролики покриті хромом, б – колодка (контртіло)

Обробка складалася з операції шліфування, яка проводилася в оправці на тому самому верстаті при режимах, що виключають утворення шліфованих тріщин і пошкоджень на зовнішній поверхні досліджуваних покриттів. Окружна швидкість шліфувального кола (24А 40П С1 5К5 ГОСТ2424-75) – 35 м/сек; поперечна подача за подвійний хід столу – 0,002...0,005 мм; окружна швидкість зразка 10...15 м/хв; поздовжня подача – 2 мм/про зразок; витрата мастильно-

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

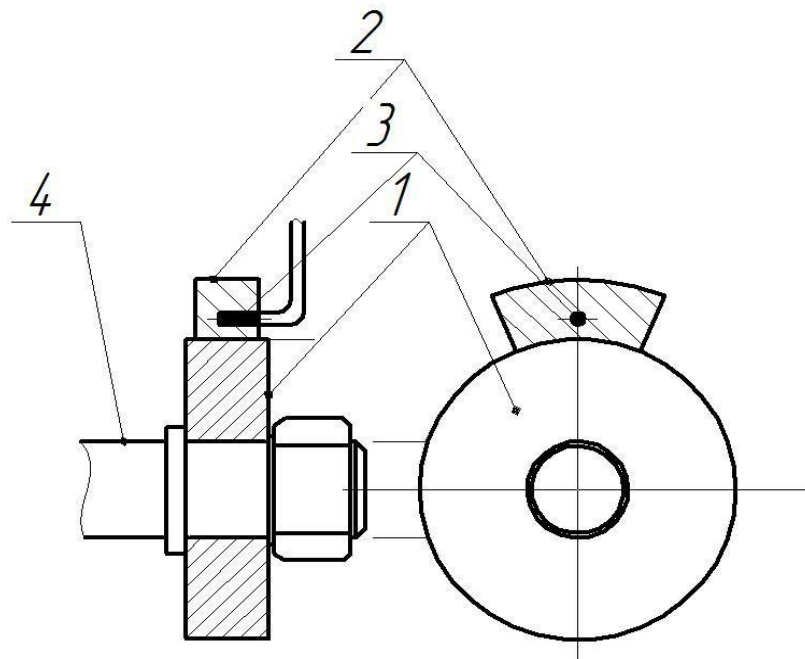
охолоджувальної рідини 20...30 л/хв. Шорсткість обробленої поверхні знаходилася в межах  $Ra = 0,63 \dots 0,32$  мкм.

Як контртіло служила колодка (чавун СЧ 21 ГОСТ 1412-93) з площею контакту 1 см<sup>2</sup>. Кількість оборотів ролика становила 450 хв-1. Для забезпечення граничного тертя та окисного зношування використовувалося моторне масло марки М10Г2, яке подавали з періодичністю по 1 краплі протягом 3-5 хв, для цього використовували крапельницю з регулюванням подачі за допомогою мікрометричного гвинта. Для максимального прилягання колодки до ролика використовувалась шарнірна опора. Перед початком випробувань проводили підгонку поверхні колодки з роликом, для цього використовували абразивне коло діаметра 50 мм з малою зернистістю, який закріплювали замість ролика на валу.

Стан поверхонь тертя вивчали за допомогою мікроскопа ММУ-3 (на наявність задирів, сколів, мікротріщин, фарбування та ін.). У процесі початкового періоду зношування запис моменту тертя здійснювалася автоматично за допомогою комп'ютера та перетворювача аналогового сигналу цифровий сигнал.

При проведенні випробувань зразків для визначення динаміки приробітку пари тертя ролик-колодка на машині тертя СМЦ-2М, крім вимірювання зносу, необхідно було вимірювати зміну температури зразка (див. Рисунок 3.9). Завдяки чому стала відома зміна коефіцієнта тертя зразка, а також зміна шорсткості плями контакту колодка-ролик у процесі тертя і, тим самим, якість змочування мастилом поверхні ролика, покритої зносостійким матеріалом.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Контроль температури у зоні тертя зразка (ролика) з допомогою термопари у районі колодки: 1 – випробуваний ролик, 2 – колодка, 3 – термопара, 4 – вал машини СМЦ-2М

Контроль температури в зоні тертя випробуваного зразка здійснювався за допомогою термопари 3 (Рисунок 2.9), за допомогою осцилографа Hantek 1008, підключеного до машини тертя СМЦ-2М.

З малюнка 2.9 видно, що при випробуванні пари ролик-колодка пропонується встановити термопару (ГОСТ Р 8.585-2001) в отвір, виконаний безпосередньо в колодці 2, що дозволить більш точно визначати зміну температури і тим самим опосередковано визначати процес припрацювання пари ролик-колодка, при трибологічних випробуваннях покритого ролика-зразка 1 хромом. Термопара 3, як датчик буде приєднатися до одного з каналів осцилографа Hantek 1008 і через програмне забезпечення Chapter3 версії v1.0.5 сигнал перетворювався на графік, що виводиться на персональний комп'ютер.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

## 2.2. Проект установки для електролітичного осадження хромових покриттів

Для визначення можливого механізму електролітичного осадження хрому здійснювали поляризаційні дослідження в гальваностатичному режимі на потенціостаті марки П-5848 з використанням стандартного триелектродного електрохімічного осередку ЯСЕ-2 з розділеними катодним та анодним просторами на платиновому індикатор. хлорсрібного електрода порівняння. Час розгорнення струму становив 750 с. Вимірювання потенціалу робочого електрода проводили електронним мультівольтметром з точністю 0,01 мВ та частотою фіксації 1 Гц з постійним перенесенням інформації на персональний комп'ютер. Реєстрація показань мультівольтметра проводилася програмним забезпеченням UT61C\_D V3.03.

Розроблена установка дозволяла змінювати та контролювати температуру електроліту. Для розробки установки було проведено розрахунки необхідної довжини змішувача-теплообмінника та потужності циркуляційного насоса. Для цього проводився вибір необхідних характеристик для відповідної гальванічної ванни, залежно від виду покриття та технології нанесення покриття. Розроблена установка дозволила провести необхідні дослідження з достатньою точністю та достовірністю, завдяки якій знизилася інертність гальванічної установки в цілому, що позитивно позначиться на якості покриттів, що осаджуються [89].

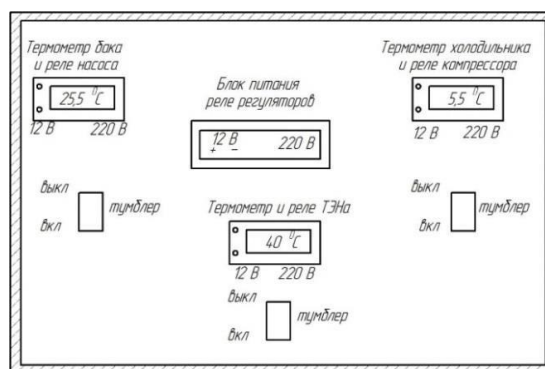


Рисунок 2.10 – Панель керування температурним режимом дослідної установки хромування

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Схема даної установки для підтримання необхідних режимів під час проведення осадження хрому на зразках показана на малюнку 2.11.

Підтримка робочої температури електроліту проводилася наступним чином: в залежності від необхідної робочої температури електроліту в діапазоні тел. управління (див. Рисунок 2.10).

При включеному компресорі охолоджувача через 1 випарники 3 наганяється температура в акумуляційній ємності 6 до необхідної робочої температури  $t_{ж}=0\div 12^{\circ}\text{C}$ , яка буде достатня для відведення тепла у ванні осадження. Після досягнення верхньої заданої температури компресор 1 буде включатися з необхідною періодичністю. Керування роботою компресора здійснюватиметься за допомогою датчика 12 та реле регулятора на панелі керування компресором холодильника (Рисунок 2.11) у заданому діапазоні. Також, у баку, можливо, отримувати температуру нижче  $0^{\circ}\text{C}$ , завдяки використанню як охолоджувальну рідину розсолу або антифризу.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

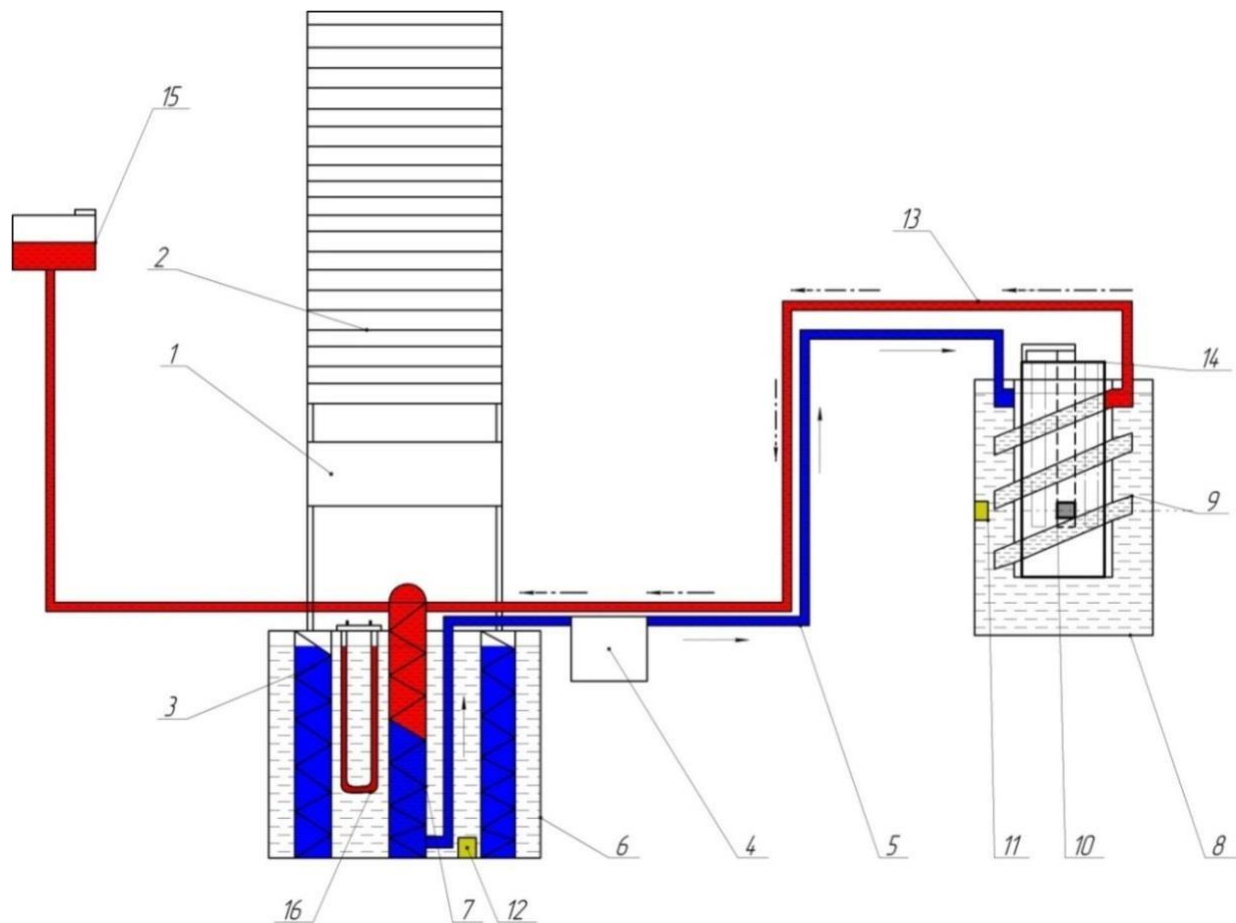


Рисунок 2.11 – Схема роботи установки для проведення досліджень: 1 – двигун-компресор, 2 – конденсатор, 3 – випарник, 4 – насос, 5 – трубопровід низької температури, 6 – акумуляційна ємність, 7,9 – теплообмінники, 8 – гальванічна ванна, 10 - навішування з деталями, що покриваються, 11 - датчик регулятора температури у ванні нанесення, 12 – датчик регулятора температури охолоджувача, 13 – трубопровід високої температури, 14 – ванна нанесення покриття, 15 – розширювальний бачок, 16 – нагрівальний елемент ТЕН

Принцип роботи установки. Для прискорення теплообміну використовується багатошвидкісний рідинний насос 4, який качає охолодну рідину через теплообмінники акумуляторної ємності 6 та гальванічної ванни 8 (див. Рисунок 2.11). Насос 4 вмикається за допомогою тумблера на панелі керування (Рисунок 3.10). У баку охолоджувача всередині 7 змійовика знаходиться ванна хромування. З метою компенсації різниці температур

						ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			36

використовується розширювальний бачок 15 (Див. Рисунок 2.11). У процесі хромування відбувається нагрівання електроліту, який через стінки ванни передає теплоту в рідину ємності теплообмінного бака 9. У баку знаходиться датчик увімкнення рідинного насоса 4, який вмикається за допомогою реле насоса на панелі керування установкою (Рисунок 2.10). Рідкісний насос має три швидкості, тому можна регулювати швидкість циркуляції в системі з метою прискорення процесу теплообміну. Завдяки цьому можна брати в облогу гальванічні покриття при підвищених щільності струму (до 200 А/дм<sup>2</sup>). Також у разі збільшення щільності струму та збільшення виділення тепла в гальванічній ванні виникає необхідність прискорення швидкості теплообміну, для цього можна зробити, змінюючи температуру циркуляційної рідини в системі за рахунок її зниження аж до температур нижче нуля.

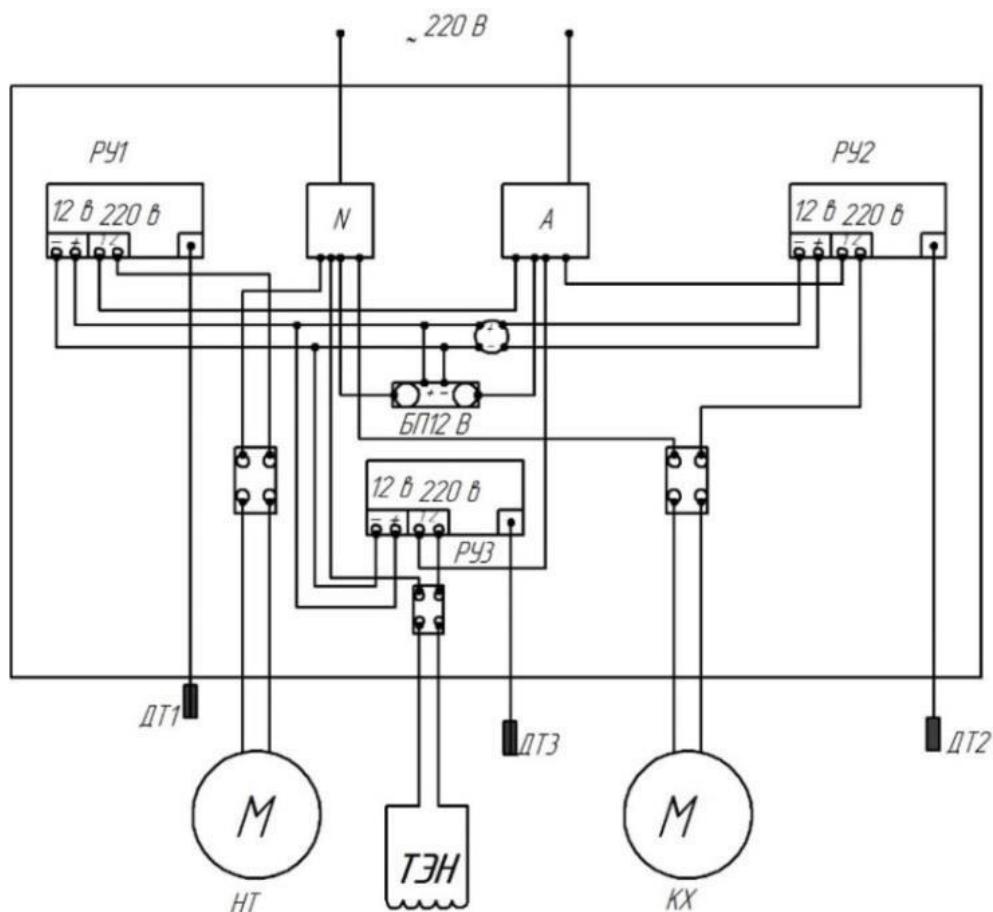


Рисунок 2.12 – Принципова електрична схема установки для підтримки температури електроліту

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

На електричній схемі (Рисунок 3.12) показано компонування з'єднань приладів на панелі керування з основним обладнанням – компресор холодильника КХ, циркуляційний насос (теплообмінника) НТ та ТЕН нагрівача. Також на електричній схемі показано датчики температури ДТ1, ДТ2, ДТ3, які з'єднані з реле регуляторами (РУ1, РУ2, РУ3) управління включення та вимкнення обладнання.

Для підтримання вищих робочих температур електроліту або у разі проведення досліджень гарячих електролітів можна використовувати нагрівання з підтримкою необхідної високої температури електроліту в діапазоні від 30 до 60 °С. Для цього також в ланцюг управління установкою (див. Рисунок 3.12) включається реле керування нагрівального ТЕНу, який спільно з охолодженням або окремо зможе підтримувати необхідну високу температуру (до 60°С) в електроліті. Принцип теплообміну та нагрівання електроліту обернений до охолодження: нагрівальний ТЕН нагріває рідину в баку до температури  $t_{ж}=50...80^{\circ}\text{C}$ . При цьому включається циркуляційний насос, який нагріту рідину через зміювик-теплообмінник із бака, через трубопроводи циркулює у зміювику теплообміннику гальванічної ванни. Внаслідок чого відбувається нагрівання електроліту у ванні до необхідної температури, виставленої реле регулювання циркуляційного насоса, який відключатиметься при досягненні верхнього встановленого в реле регулятора діапазону температури. Нагрів в акумуляторній ємності б контролюється термореле регулятором, який відключає нагрівальний ТЕН при досягненні верхньої межі температури. Бак ізолюється термоізоляцією, що дозволить довше зберігати робочу температуру в баку установки та зменшити кількість циклів включення компресора та нагрівального ТЕНу, і тим самим зберегти цілісність обладнання та заощадити електроенергію на процес підтримання робочої температури електроліту. який буде вимикатись при досягненні верхнього встановленого в реле регулятора діапазону температури. Нагрів в акумуляторній ємності б контролюється термореле регулятором, який

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

відключає нагрівальний ТЕН при досягненні верхньої межі температури. Бак ізолюється термоізоляцією, що дозволить довше зберігати робочу температуру в баку установки та зменшити кількість циклів включення компресора та нагрівального ТЕНу, і тим самим зберегти цілісність обладнання та заощадити електроенергію на процес підтримання робочої температури електроліту. який буде вимикатись при досягненні верхнього встановленого в реле регулятора діапазону температури. Нагрів в акумуляторній ємності 6 контролюється термореле регулятором, який відключає нагрівальний ТЕН при досягненні верхньої межі температури. Бак ізолюється термоізоляцією, що дозволить довше зберігати робочу температуру в баку установки та зменшити кількість циклів включення компресора та нагрівального ТЕНу, і тим самим зберегти цілісність обладнання та заощадити електроенергію на процес підтримання робочої температури електроліту.

Технологія відновлення деталей хромуванням розроблялася на основі найкращих результатів проведених лабораторних досліджень та виробничого досвіду їх ремонту.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### **3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМ ХРОМУВАННЯМ**

Для практичного використання результатів досліджень, проведених у дисертаційній роботі, виникла потреба виконати розробку типового технологічного процесу відновлення деталей, що працюють при гідроабразивному зношуванні з використанням розробленого ХСЕХ.

Під час проведення досліджень доведено, що хромові покриття, одержувані з розробленого електроліту, мають високі фізико-механічні властивості при високій продуктивності отримання хромових покриттів. Тому розробка технології відновлення для практичного використання на ремонтних підприємствах має важливе техніко-економічне обґрунтування.

Отримані дані дозволяють рекомендувати до застосування цей електроліт при відновленні та зміцненні деталей автомобілів, що піддаються в процесі роботи впливу великих знакозмінних навантажень, низьких та високих температур, а також корозійно-активного середовища.

Для впровадження даного електроліту у виробництво необхідно розробити типовий технологічний процес та рекомендації, дотримання яких дозволить забезпечити високий рівень технологічної надійності та осадження якісних покриттів із заданими фізико-механічними властивостями.

При розробці типового технологічного процесу та виробничих рекомендацій нами використовувався досвід отриманих результатів досліджень та розробок в організації ремонтного виробництва при використанні технології нанесення хромових покриттів із розробленого електроліту.

Електролітичне хромування є одним із способів гальванічного виробництва, який використовується для осадження покриття з необхідними властивостями. Для цього потрібне виконання цілого ряду операцій у певній технологічній послідовності залежно від складу електроліту та вимог, що

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

висуваються до покриття, що наноситься.

Для забезпечення високої міцності зчеплення перед нанесенням хромових покриттів необхідно проводити ретельне хімічне або електрохімічне знежирення, що виключає залишки жирових та інших відкладень, а також електрохімічне травлення, що забезпечує якісне видалення з поверхні окисної плівки, що покривається, і формування захисної (запобіжної). від окислення поверхні під час виконання міжопераційних промивок.

На підставі досліджень було встановлено, що для забезпечення високої адгезійної міцності зчеплення з поверхнею поверхні, що покривається, найбільш раціонально використовувати електрохімічне травлення в електроліті з 30% сірчаної кислоти і 15 г/л сульфату заліза. Режими травлення залежать від хімічного складу та способу зміцнення деталі. Нами було встановлено, що анодну обробку хромованої поверхні сталевих деталей слід проводити при анодній щільності струму  $D_a=60\dots150$  А/дм<sup>2</sup> протягом 1,5÷2 хв, при робочій температурі електроліту  $20\pm 2$ о С. При цьому травлення деталей автомобілів, виготовлених з високовуглецевих сталей, а також схильних до хіміко-термічної обробки та поверхнево-пластичного деформування, слід проводити при вищій щільності струму.

Відомо, що на міцність зчеплення покриттів не меншою мірою впливають такі фактори: наступна, після травлення та промивання, анодне активування в основному електроліті хромування та початкові умови осадження покриттів. Також встановлено, що пасивна захисна плівка успішно видаляється в розробленому електроліті хромування при анодній щільності струму  $T_{ак}=50\dots60$  А/дм<sup>2</sup> протягом 30-50 с.

Хромування здійснюється за  $D_k=75\dots200$  А/дм<sup>2</sup> залежно від технічних вимог на кожну конкретну деталь. Осадження покриття слід починати при катодній щільності струму в 1,5...2 рази більше оптимальної протягом 1,5...2 хв. з плавним зниженням до робочої густини струму.

Крім того, дослідженнями встановлено, що в процесі електролізу робоча

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

температура електроліту хромування повинна знаходитись у межах 18...35оС. Відхилення від встановлених значень призводить до суттєвого зниження якості покриттів. Для цього необхідно, щоб об'ємна щільність знаходилася в межах 1,5...2 А/л. За цих умов, як показали наші дослідження, повністю виключається необхідність охолодження електроліту. Виходячи з цих умов, можна легко розрахувати обсяг ванни для електролітичного хромування стосовно конкретних умов виробництва. Дані результати, отримані в процесі досліджень, та їх узагальнення, лягли в основу розробки типового технологічного процесу хромування деталей за стаціонарних умов електролізу.

Розробка типового технологічного процесу виконувався на основі результатів досліджень та рекомендацій для нанесення якісних покриттів з розробленого електроліту відповідно до вимог ГОСТ 3.1129-93, стандартів ЕСКД та ЕСТД, а також з урахуванням доповнень, роз'яснень та обмежень, викладених у керівних технічних матеріалах та галузевих стандартах.

В основу розробки типового технологічного процесу хромування деталей при відновленні деталей автомобілів були покладені результати досліджень, виконані відповідно до дисертаційних досліджень з розробки холодного, стабільнішого, саморегулюючого електроліту хромування, що забезпечує осадження якісних покриттів з високими фізико-механічними властивостями у досить широкому діапазоні температур електроліту.

Виходячи з технологічних особливостей процесу нанесення хромових покриттів з розробленого електроліту, типовий технологічний процес хромування буде містити такі необхідні технологічні операції:

- мийна
- дефектувальна;
- шліфувальна;
- монтажна
- електрохімічне знежирення;
- промивна (у гарячій, а потім холодній воді);

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- електрохімічне травлення;
- промивна (у холодній воді);
- хромування (активування з наступним хромуванням)
- промивна (у ванні уловлювання, а потім у холодній воді);
- демонтажна (демонтаж деталей із підвісного пристрою);
- сушильна;
- контрольна;
- шліфувальна (довідкова);
- мийна;
- контрольна

При виконанні технологічних операцій використовується відповідне обладнання, необхідне технологічне оснащення, інструменти, прилади та матеріали. Наведений опис операцій та обладнання для кожної операції, при цьому можуть бути використані інші моделі обладнання за умови дотримання вимог ТУ та ГОСТ.

Коригування та контроль ванни хромування здійснюють згідно з даними досліджень.

Розроблений типовий технологічний процес відновлення деталі хромуванням з використанням запропонованого електроліту на прикладі золотників гідророзподільників Р-80 З/1-444.

Для підтвердження отриманих результатів лабораторних випробувань необхідно було провести експлуатаційну перевірку деталей, покритих хромом за розробленою технологією, щоб підтвердити доцільність використання її у виробництві. З цією метою було обрано найбільш поширений та найбільш завантажений агрегат гідроприводу – гідророзподільник, який використовується на автомобілях. Для цього попередньо було взято три несправні гідророзподільники моделі Р-80 З/1-444, проведено їх розбирання, миття та дефектацію основних базових деталей, а саме золотників та корпусу. На підставі дефектації було зроблено висновки, що знос золотникової пари перевищує

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

граничний, розподільники не придатні для подальшої експлуатації та потребують ремонту. Для цього на спеціалізованому підприємстві з ремонту гідроагрегатів було проведено попередню підготовку золотникової пари до відновлення, а саме проведено хонінгування отворів корпусу та шліфування поясків золотників з шорсткістю  $Ra=0,32\dots0,63$  мм до виведення слідів зносу.

Для виготовлення електроліту хромування використовувалися хімічні реактиви кваліфікації ХЧ. Перерахована кількість компонентів згідно з розробленим складом електроліту, така: хромовий ангідрид – 2,78 кг, вуглекислий кальцій – 0,45 кг, сульфат кобальту семи водного – 0,09 кг, сульфат нікелю семи водного – 0,09 кг, плавикова кислота – 0 0076 кг. Електроліт після приготування наполягався 8-10 годин, для стабілізації складу за обсягом та температурою розчину до 18-20оС, щільність розчину при цьому становила 1,306...1,310 г/см<sup>3</sup>. Далі пророблявся протягом 8-10 годин для виділення необхідної кількості  $Cr^{3+}$  (2...15 г/л) [63].

Зовнішній вигляд підготовлених для хромування та покритих хромом золотників показаний на малюнку 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд золотників: а – підготовлених для хромування, б – покритих хромом

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

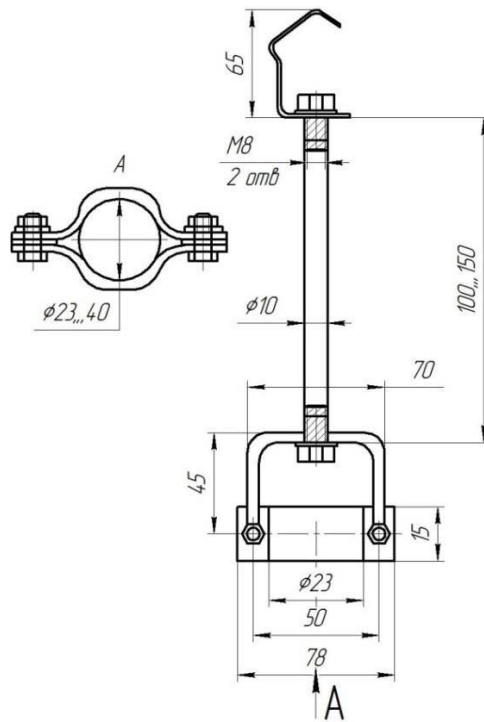


Рисунок 3.2 – Підвіска для хромування золотників

Для здійснення процесу хромування золотників була виготовлена універсальна одномісна підвіска (див. Рисунок 3.2), яка може бути використана при хромуванні золотників різних гідророзподільників та гідропідсилювачів з діаметром від 23 до 40 мм.

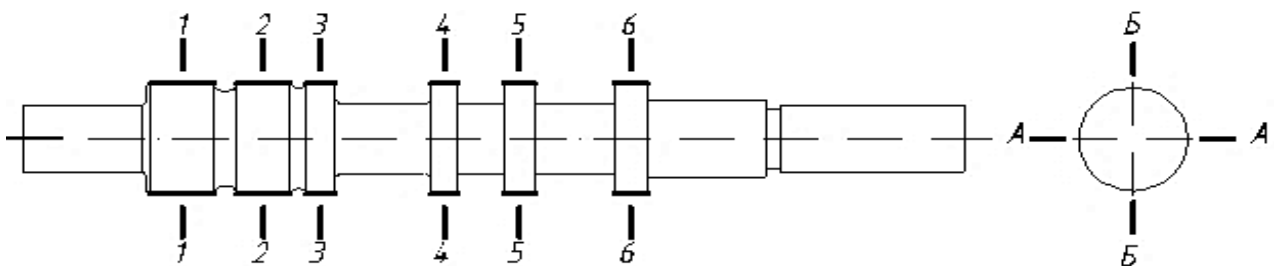


Рисунок 3.3 – Схема мікрометражу зношених золотників

Перед початком відновлення золотників був проведений мікрометраж розмірів зношених поверхонь, які необхідно відновити хромом.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 3.1 – Результати мікрометражу золотників

№ золотника	Площин а виміру	Номер пояса					
		1	2	3	4	5	6
1	А-А	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01	25,00
	Б-Б	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01	25,00
2	А-А	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01	25,01
	Б-Б	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
3	А-А	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	Б-Б	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
4	А-А	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98
	Б-Б	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99
5	А-А	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98	24,98
	Б-Б	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99	24,99
6	А-А	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95
	Б-Б	24,97	24,97	24,97	24,97	24,97	24,97

Мікрометраж проводився за допомогою мікрометра МК 0-25 ГОСТ 868-80 у двох взаємно перпендикулярних площинах (див. Рисунок 3.3 та таблицю 3.1)

Після того, як золотник був встановлений і закріплений на підвіску, були проведені роботи з ізоляції поверхні, яка не покриватиметься хромом, для цього використовувалася ізоляційна стрічка ПХВ.

Нанесення покриттів проводили у ванні з об'ємом електроліту 9 л.

Для приготування електроліту травлення використовувався водний розчин 30% сірчаної кислоти (365 г/л) з додаванням 15-20 г/л сульфату заліза, щільність розчину була в межах 1,21...1,22 г/см<sup>3</sup> за температури 20°C.

Для проведення знежирення поверхні використовувалася «Віденська» відомість, що складалася з 50% оксиду кальцію та 50% оксиду магнію. До суміші додавалася дистильована вода і 5% до кількості оксиду магнію та кальцію калієвої луги. Після знежирення золотники промивали гарячою, холодною

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

дистильованою водою з наступним промиванням.

Процес нанесення покриття проводився за наступних режимів: електролітичне травлення проводили при  $I_a=150$  А/дм<sup>2</sup>, температурі електроліту 20°C протягом 1,5..2 хв.

Декапування  $I_{ак}=80$  А/дм<sup>2</sup> протягом 45 з. Хромування  $I_{кк}=100$  А/дм<sup>2</sup> при температурі електроліту від 20 до 32°C протягом 75-80 хв, за цих умов товщина покриття, що наноситься, становила 0,35...0,4 мм.

Після хромування проводилося попереднє промивання у ванні з дистильованою водою, а після видалення ізоляційної стрічки з не покриваних поверхонь ретельно промивали золотники в проточній воді.

Для видалення атомарного водню з хромових покриттів золотники піддавали сушінню в печі муфельної власного виготовлення при температурі 200...220°C протягом 1..1,5 годин. Необхідність сушіння хромованих золотників викликана тим, що в процесі електролізу поряд з відновленням іонів хрому відновлюються іони водню, що сприяє одночасному формуванню покриттів з ОЦК та метастабільною ГПУ кристалічною решіткою, які згодом переходять до ОЦК грат. Нагрів прискорює процес екстрагування атомарного водню, який може бути в шарі хрому і може бути причиною утворення тріщин і пір, якщо його не видалити.

Після просушування золотників проводився мікрометраж для визначення необхідної механічної обробки. Мікрометраж золотників після покриття хромом здійснювався за тією самою схемою, що й зношених (див. Рисунок 5.3) та результати, наведені в таблиці 3.2.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 3.2 - Результати мікрометражу покритих золотників

№ золотника	Площина виміру	Номер пояса					
		1	2	3	4	5	6
1	А-А	25,62	25,62	25,62	25,62	25,62	25,61
	Б-Б	25,62	25,62	25,62	25,62	25,62	25,61
2	А-А	25,63	25,63	25,63	25,62	25,62	25,62
	Б-Б	25,63	25,63	25,63	25,62	25,62	25,62
3	А-А	25,63	25,64	25,64	25,64	25,64	25,62
	Б-Б	25,54	25,54	25,54	25,54	25,54	25,53
4	А-А	25,52	25,52	25,53	25,52	25,52	25,52
	Б-Б	25,53	25,53	25,53	25,52	25,52	25,52
5	А-А	25,52	25,53	25,52	25,52	25,53	25,52
	Б-Б	25,53	25,53	25,52	25,52	25,53	25,52
6	А-А	25,52	25,54	25,53	25,50	25,52	25,56
	Б-Б	25,55	25,55	25,54	25,54	25,54	25,53

Після хромування золотники піддавалися подальшій механічній обробці – шліфуванню та притиранні до відповідних посадкових місць у корпусах гідророзподільників після відповідного комплектування за розмірними групами. За результатами шліфування була проведена оцінка якості обробки, при цьому сколи, та відшаровування не виявлено, що підтвердило доцільність використання розробленої технології, з використанням розробленого ХСЕХ при відновленні деталей автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні, зокрема золотників, плунжерів та ін. .

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

## 4. ВИПРОБУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ МІЦНОСТІ І ЗНОСОСТІЙКОСТІ ХРОМОВИХ ПОКРИТЬ

### 4.1. Дослідження міцності зчеплення хромового покриття

Найважливішим експлуатаційним показником електролітичних покриттів є міцність зчеплення покриття з матеріалом деталі, що покривається. Від міцності зчеплення покриття істотно залежать трибологічні властивості відновлюваних та зміцнюваних деталей автомобілів. Тому дуже важливо визначити оптимальні умови, за яких формуються якісні покриття з високою міцністю зчеплення [121].

При випробуванні покриттів на міцність зчеплення через кожні три цикли проводилися виміри діаметрів у взаємно перпендикулярних площинах, і проводилося дослідження поверхні на наявність подряпин (слідів зносу), раковин, сколів та відшарування покриття у чотирьох площинах (1-4).

Випробування на міцність зчеплення виконували за ГОСТ 9302-88. Посадку підшипника на покритий вал проводили з натягом, що перевищує допуск у 2-3 рази, щоб навантаження на поверхню перевищувала номінальне значення і, тим самим, визначалася міцність зчеплення хромового покриття з основою деталі (Рисунок 4.1).



А Б

Рисунок 4.1 – Вид поверхні валу, покритої хромом: а – поверхня валу до випробувань; б – поверхня валу після випробувань

Дослідження впливу складу електроліту хромування на міцність зчеплення покриттів з поверхнею випробуваного валу підтвердили, що висока міцність зчеплення (до 270 Мпа) досягається за оптимального складу основних

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

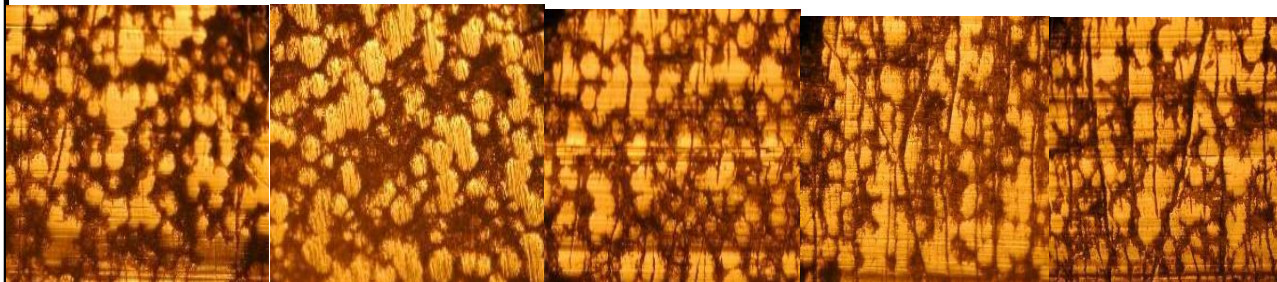
компонентів, г/л: хромовий ангідрид – 420-450, карбонат кальцію – 50- 60, кобальту семи водного –10, сульфат нікелю семи водного – 10, плавикової кислоти – 0,65÷0,9. Міцність зчеплення покриттів при зміні концентрації добавки плавикової кислоти в межах 0,65÷0,9 г/л коливалася в інтервалі 220-270 МПа, а руйнування хромового покриття відбувалося з частковим розривом металу основи та слідами покриття на зразку (Рисунок 4.1). Це дозволило припустити, що сили зчеплення хромового покриття з основою зразка зрівнянні з міжмолекулярними силами покриття та матеріалу основи.



Рисунок 4.2 – Стан хромованої поверхні валів, покритих з розробленого електроліту під час випробувань на міцність зчеплення

При багаторазовому запресуванні підшипників, на шийку валу, покриту хромом, знос по діаметру практично був відсутній, спостерігалися лише невеликі мікро ризики та подряпини, які не впливали на якість посадки підшипника на вал (див. Рисунок 4.3).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



а б в г Д

Рисунок 4.3 – Мікроструктура поверхні шийки валу, покритої зносостійким хромом: а-вихідна поверхня, б-після 3 запресовок, в-після 6 запресовок, г-після 9 запресовок, д- після 12 запресовок (електроліт складу: хромовий ангідрид - 450 г/л, карбонат кальцію - 50 г/л , сульфат нікелю – 10 г/л, сульфат кобальту – 10 г/л, плавикова кислота – 0,7 г/л, Режим осадження: катодна щільність струму – 100 А/дм<sup>2</sup>, середня температура електроліту – 27оС, вихід за струмом 50 %

З малюнка 4.18 видно, що в процесі випробувань відбувається незначна зміна мікроструктури поверхні, покритої хромом, що свідчить про високу зносостійкість та міцність зчеплення.

Отримані результати дозволяють прогнозувати можливості практичного застосування даного способу відновлення та зміцнення

важко навантажених, зношених деталей машин, наприклад, таких як плунжер паливних насосів, золотники гідророзподільника, посадочні місця під підшипники, які працюють при великих навантаженнях і т.п.

При вмісті кількості неорганічної добавки плавикової кислоти в електроліті більше 1,0 г/л, міцність зчеплення знижувалася, і на 9-му та 12-му циклах випробувань відбувалася поява тріщин, і сколювання шару хрому, що показало не доцільним подальше збільшення концентрації добавки.

Таким чином, в результаті досліджень одержуваних покриттів з розробленого електроліту хромування було встановлено, що значний вплив на

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

адгезійну міцність зчеплення та зносостійкість поверхні має склад електроліту. Також з'ясовано, що значний вплив на фізико-механічні властивості одержуваних хромових покриттів з розробленого електроліту надає вміст в електроліті неорганічної добавки у вигляді плавикової кислоти. При цьому оптимальна кількість плавикової кислоти для отримання найвищої якості хромових покриттів з хорошим зчепленням з основою деталі досягається в електроліті, що розробляється при концентрації  $0,65 \div 0,9$  г/л.

#### 4.2. Дослідження зносостійкості хромових покриттів

Внаслідок передбачуваної метастабільності опадів хрому, виникла необхідність оцінки їх зносостійкості при тривалій роботі пар, що труться (порядку 250 годин).

Величину зносу визначали гравіметричним методом через кожні 10 годин зважуванням зразків і колодок з точністю до 0,1 мг до і після зношування. Формування робочого рельєфу поверхонь, що труться, проводилося при навантаженні 35, 30, 25, 20, 15 і 10 кг/см<sup>2</sup>. Після моменту тертя і приробітку, при загальній площі контакту пари тертя не менше 90%, навантаження плавно збільшували до запланованого (для уникнення підвищення моменту тертя). За гранично допустиме приймалося зовнішнє навантаження, вище якого на один інтервал пара тертя переходила на патологічну форму зношування.

Відомо, що початковий період зношування поверхонь, що труться, супроводжується їх взаємним припрацюванням, протягом якого відбувається формування вторинних структур поверхневих шарів металів і робочого рельєфу поверхонь пари тертя в зоні контакту (Рисунок 4.4).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

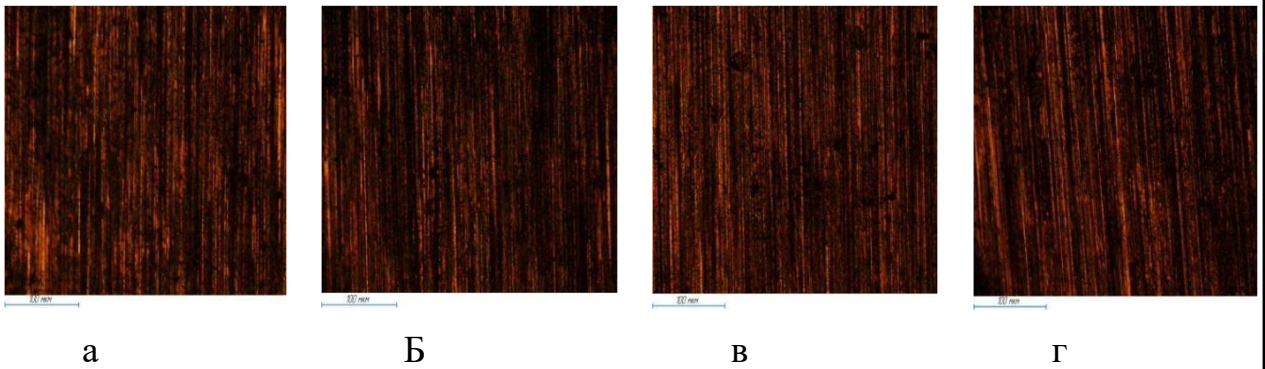


Рисунок 4.4 – Фото поверхні відбитка хромованих роликів

зразків (шліфованих) до початку випробування при різному вмісті в електроліті плавикової кислоти, г/л: а – 0,65; б - 0,7; в - 0,8; г – 0,9

З аналізу одержуваних поверхонь підготовлених до випробування роликів-зразків (Рисунок 4.5) можна зробити висновок, що покриття хромом з розробленого електроліту відповідає вимогам якості покриття, що можливо використовувати для відновлення деталей автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні.

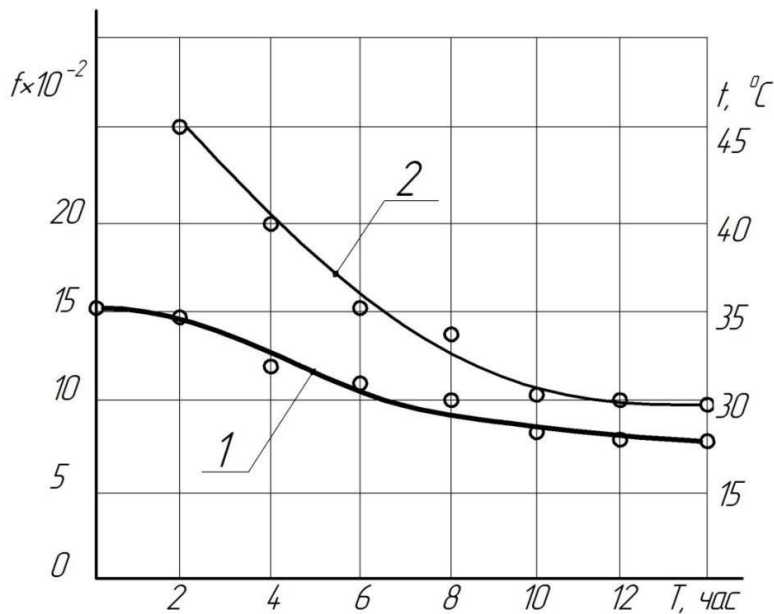


Рисунок 4.5 – Зміна коефіцієнта тертя – 1 та температури – 2 у процесі приробітку хромових покриттів, отриманих в електроліті з добавкою плавикової кислоти у кількості 0,8 г/л при  $D_k=120$  А/дм<sup>2</sup> при зовнішньому навантаженні

Результати отримані при дослідженнях показали, що найбільш кращим є процес припрацювання пари тертя ролик-колодка при зовнішньому навантаженні 10÷15 кг/см<sup>2</sup> (Рисунок 4.6). Досліджувані хромові покриття не ушкоджуються, з характерним вирівнюванням шорсткості до  $Rz=0,04\div0,16$  мкм (Рисунок 4.7 а та б). Завдяки чому коефіцієнт тертя та температура в зоні тертя знижуються до мінімального значення за короткий час.

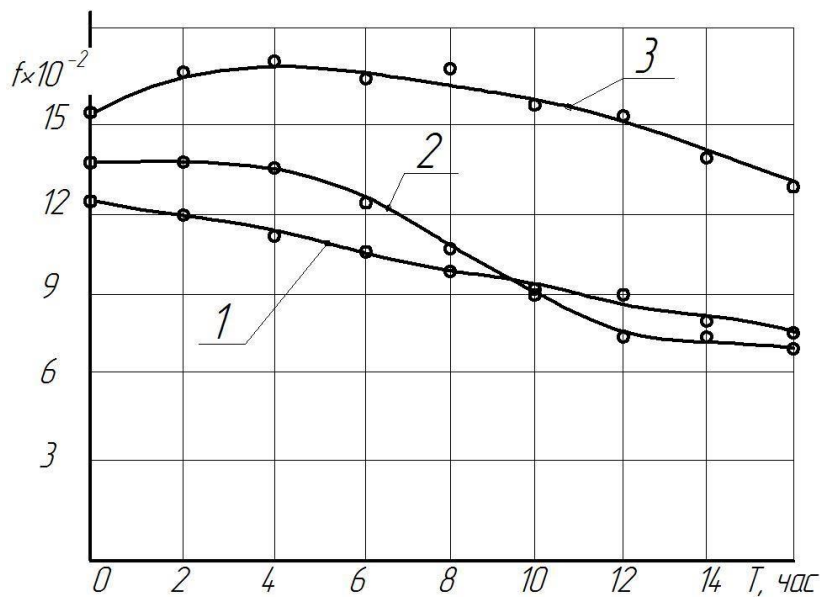
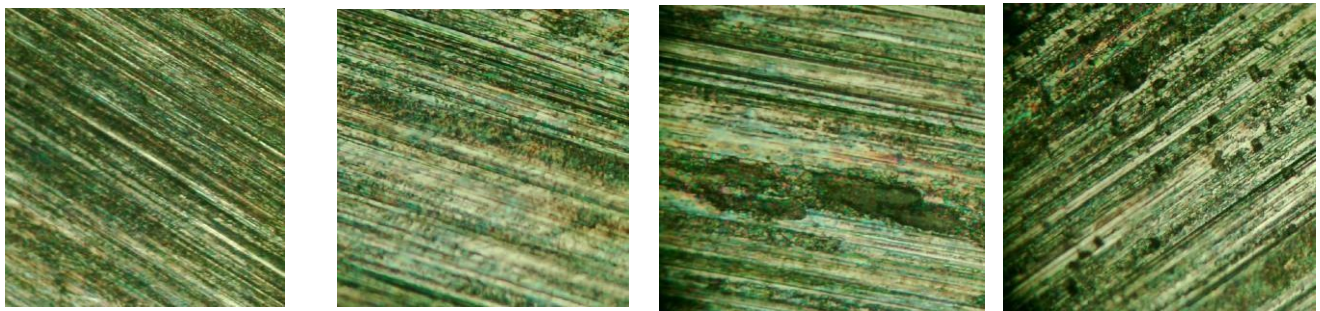


Рисунок 4.6 – Зміна коефіцієнта тертя в процесі приробітку хромових покриттів, отриманих в електролітах: 1 – з додавкою HF у кількості 0,8 г/л при  $D_k=120$  А/дм<sup>2</sup>, 2 – універсальному, 3 – без додавки HF при  $D_k=120$  А/дм<sup>2</sup> при зовнішньому навантаженні 20 кг/см<sup>2</sup>

При зовнішньому навантаженні 20 кг/см<sup>2</sup> умови приробітку пар тертя ролик-колодка більшою мірою залежить від якості та виду покриття, що отримується з різних електролітів хромування (Рисунок 4.21). При цьому ролики, покриті хромом, які отримані з електроліту без добавок плавикової кислоти, має нестабільний момент тертя, а також температуру в місці контакту пари тертя та з

часом проведення приробітку (Рисунок 4.7, крива 3). При цьому на поверхні ролика в місці контакту з колодкою спостерігалися поодинокі пошкодження у вигляді невеликої кількості задирів (Рисунок 4.8). У процес приробітку відбувалося незначне зниження коефіцієнта тертя і температури у місці контакту поверхні ролика з колодкою.

У покриттів, отриманих у розробленому електроліті хромування з додаванням плавикової кислоти (HF) (Рисунок 4.7, крива 1) та універсальному (Рисунок 4.7, крива 2) при навантаженні 20 кг/см<sup>2</sup> пошкодження поверхонь пар тертя не виявлено. При цьому час приробітку поверхонь у цих пар тертя довше, ніж при навантаженні 10÷15 кг/см<sup>2</sup>.



а б в г

Рисунок 4.8 – Фото поверхні відбитка хромованих роликів зразків після приробітку при навантаженні, кг/см<sup>2</sup>: а – 10, б – 15, в – 20, г – 25

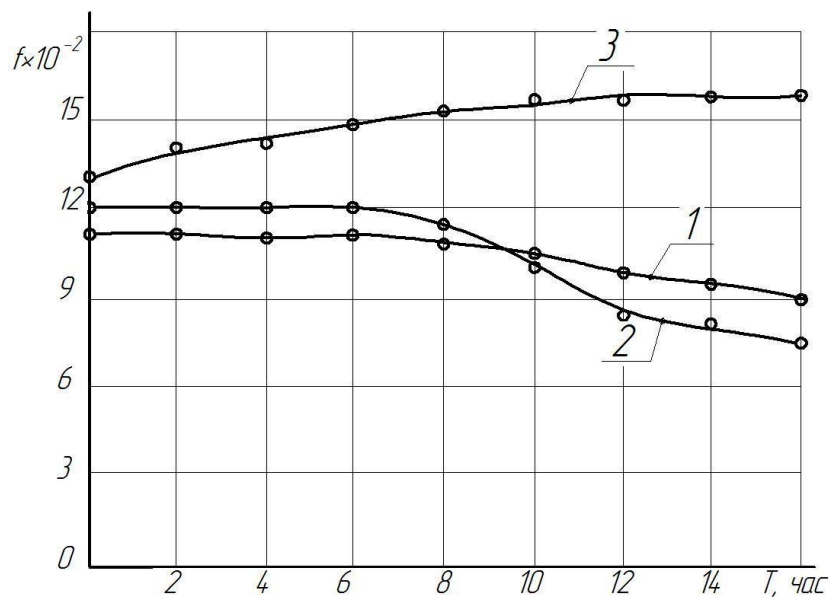


Рисунок 4.9 – Зміна коефіцієнта тертя в процесі приробітку хромових покриттів, отриманих в електролітах: 1 – з добавкою HF у кількості 0,8 г/л при  $D_k=120 \text{ A/дм}^2$  2 – універсальному; 3 – без добавки HF, при зовнішньому навантаженні  $25 \text{ кг/см}^2$

Поодинокі пошкодження поверхонь, що труться, без розвитку патологічної форми зношування з'являються у пар з покриттям (Рисунок 4.9, крива 1), отриманим в електроліті з добавкою HF при початковому навантаженні  $25 \text{ кг/см}^2$  (Рисунок 4.8 г). У таких умовах приробітку хромове покриття, отримане в електроліті без добавки HF (Рисунок 4.9, крива 3), переходить на режим патологічної форми зношування. Хромове покриття, отримане в універсальному електроліті (Рисунок 4.9, крива 2), як і раніше, без пошкоджень. Зовнішнє навантаження в процесі приробітку більше  $30 \text{ кг/см}^2$  є неприпустимим для всіх досліджуваних покриттів.

Після припрацювання пар тертя шляхом ступінчастого підвищення зовнішнього навантаження встановлено верхню її межу, що допускає нормальний процес окислювального зношування. Найкращі показники процесу тертя виявлені у покриттів, припрацьованих при навантаженні  $10 \text{ кг/см}^2$ . Приробіток при зовнішніх навантаженнях понад  $20 \text{ кг/см}^2$  значно погіршує ці показники: коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування покриттів збільшується, а верхня межа допустимих навантажень знижується (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Характеристики процесу зношування хромового покриття при зовнішньому навантаженні  $P=100 \text{ кг/см}^2$

Покриття з електроліту	Навантаження під час роботи $\text{кг/см}^2$	Показники процесу тертя			
		$P_{\text{max}}$ , $\text{кг/см}^2$	Інтенсивність зношування, $\text{мг/год}$	Коефіцієнт тертя	Температура, $T, \text{оС}$

З добавкою HF кількості 0,8 г/л при Дк=120А/дм <sup>2</sup>	15	100	0,0075	0,0278	55
Без добавки HF при Дк=120А/дм <sup>2</sup>	15	100	0,0110	0,0325	60
Універсального	30	100	0,0092	0,0290	55

При підвищенні зовнішнього навантаження (у межах допустимого) коефіцієнт тертя стабілізується і починає знижуватися (Рисунок 4.9).

Аналіз отриманих результатів дозволив виявити деякі переваги хромових покриттів, отриманих запропонованим способом. Так, після приробітку при зовнішньому навантаженні до 20 кг/см<sup>2</sup> інтенсивність зношування покриттів та контртіла найменша.

При зміні зовнішнього навантаження в межах від 50 до 125 кг/см<sup>2</sup> коефіцієнт тертя пари також найменший (Рисунок 4.9), що свідчить про підвищення антифрикційних властивостей опадів. Значною перевагою цих покриттів є те, що зміна катодної щільності струму від 75 до 200 А/дм<sup>2</sup> практично не впливає на показники зношування (Рисунок 4.9).

Однак, для покриттів, отриманих у запропонованому розчині, допускається менш широкий інтервал зовнішніх навантажень, що забезпечують окисне зношування (Рисунок 4.10). Крім того, при появі патологічної форми зношування їх зносостійкість стає більшою мірою, порівняно з опадами з універсального електроліту (Таблиця 4.2).

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

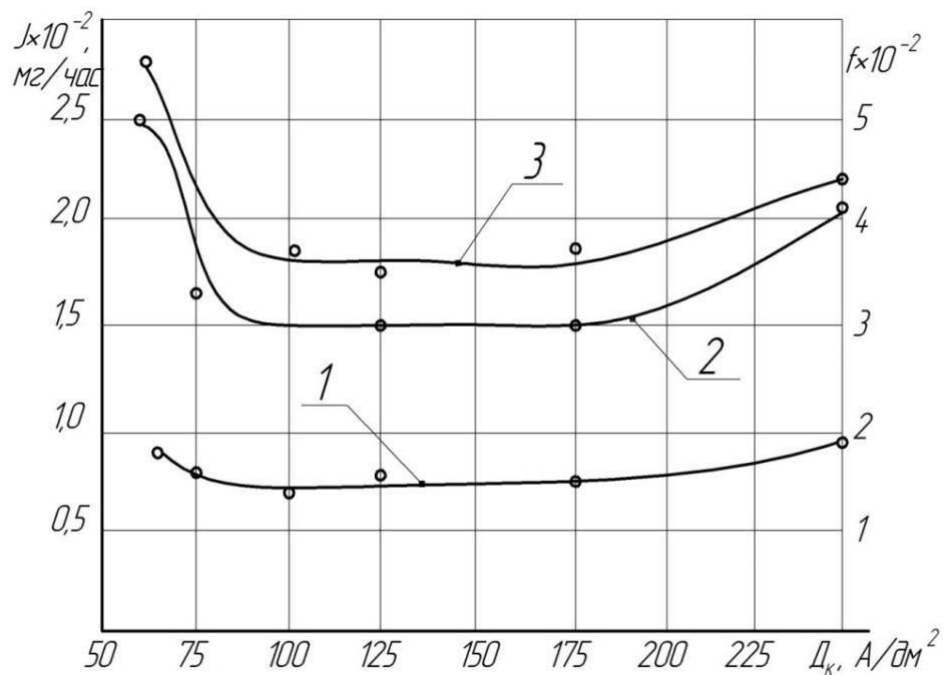


Рисунок 4.10 – Вплив катодної щільності струму на інтенсивність зношування хромових покриттів, отриманих в електроліті з добавкою HF у кількості 0,8 г/л – 1, контртіла – 2 та коефіцієнт тертя – 3, при зовнішньому навантаженні – 100 кг/см<sup>2</sup>.

При тривалих випробуваннях, інтенсивність зношування хромових покриттів, отримані за допомогою розробленого електроліту в порівнянні з покриттями, отримані в універсальному електроліті, мають кращі показники, що перевищують на 20÷30 %, у той час, як у покриттів, осаджених в електроліті без добавки HF після 100 годин роботи пари – значно зростає. Тому найкращі показники зносостійкості мають хромові покриття, які отримані в розробленому електроліті з добавкою HF. Незважаючи на зниження мікротвердості з 11000 до 7500 МПа, покриття мають високу зносостійкість при зовнішньому навантаженні до 100 кг/см<sup>2</sup>.

Слід зазначити, що зміна зовнішнього навантаження незначно впливає інтенсивність зношування всіх досліджуваних хромових покриттів.

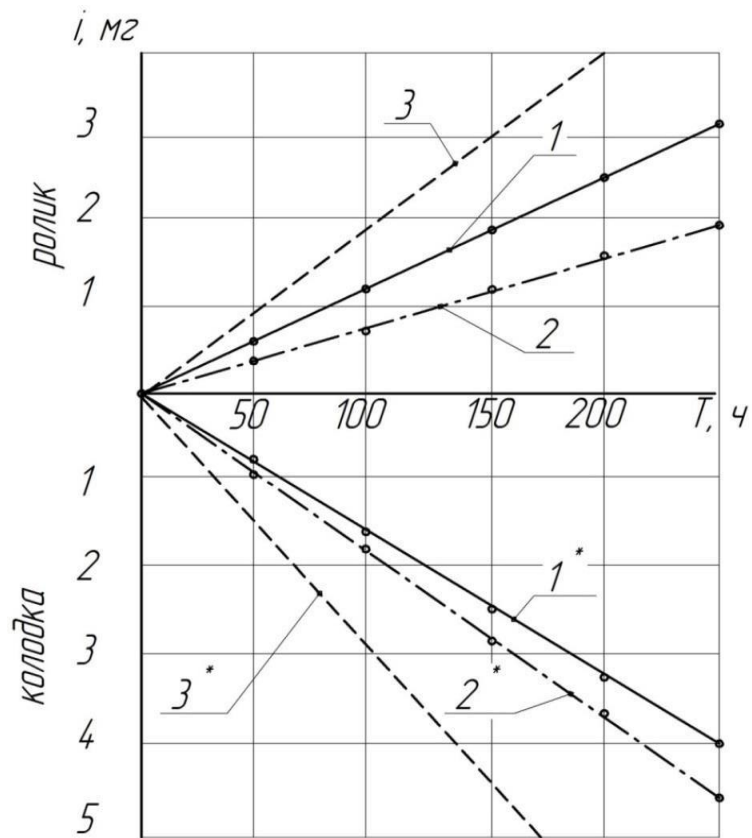


Рисунок 4.11 – Вплив зносу пар тертя ролик-колодка при випробуваннях різних покриттів: 1 – ролик, покритий в універсальному електроліті ( $D_k=50$  А/дм<sup>2</sup>,  $t_{el}=50^{\circ}C$ ), 2 – ролик, покритий у розробленому електроліті ( $D_k=100$  А/дм<sup>2</sup>,  $t_{el}=30^{\circ}C$ , з концентрацією HF 0,8 г/л), 3 – ролик, без покриття (еталонний)

В результаті досліджень зносу пар тертя ролик-колодка (Рисунок 4.11) було встановлено, знос залежно від часу носить лінійний характер. При цьому встановлено, що покриття, отримане з розробленого електроліту з добавкою плавикової кислоти (HF), має зносостійкість вище покриття, отриманого з універсального електроліту майже в 1,6 рази. Однак зносостійкість колодки порівняно з покриттям, отриманим із універсального електроліту нижче на 10%. При цьому загальна зносостійкість пари тертя з роликом покритим хромом з розробленого електроліту хромування з добавкою плавикової кислоти перевищує в 1,2 рази зносостійкість пари тертя покритого ролика з універсального електроліту.

Виявлені експериментально закономірності зношування хромових покриттів задовільно пояснюються з погляду викладів теорії зовнішнього тертя та зносу.

В результаті отриманих даних випробування хромових покриттів на зносостійкість, було встановлено, що одержувані в електроліті з добавкою HF при електролізі постійним струмом, володіють підвищеною стабільністю і за фізико-механічними властивостями практично не поступаються аналогічним покриттям, що осаджуються з універсального електроліту і є придатними для відновлення автотракторних деталей.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Виконано обґрунтування доцільності відновлення деталей агрегатів та вузлів спеціальних автомобілів, що експлуатуються підприємствами комунального господарства та дорожньо-будівельного виробництва.

2. Обґрунтовано вибір використання електролітичного хромування як спосіб відновлення деталей автомобілів, що працюють при гідроабразивному зношуванні, з метою покращення якості та довговічності роботи деталей спеціальних автомобілів.

3. Здійснено аналіз літературних джерел та проведено патентний пошук існуючих електролітів хромування, які використовуються для одержання зносостійких покриттів при відновленні деталей автомобілів.

4. Вибраний холодний саморегулюючий електроліт хромування наступного складу, г/л: хромовий ангідрид ( $\text{CrO}_3$ ) –  $420 \div 450$ , карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ) –  $67 \div 75$ , сульфат кобальту ( $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) – при  $18 \div 20$  робочому інтервалі температур електроліту  $18 \div 23^\circ\text{C}$ .

5. Розроблено методику проведення досліджень та вибрано необхідне обладнання, з визначенням необхідних параметрів та характеристик розчинів електролітів хромування, із заданою точністю, достовірністю та з урахуванням існуючих методик.

6. Розроблено типовий технологічний процес відновлення золотників гідророзподільників Р-80, що використовуються на спеціальних автомобілях у комунальних та дорожньо-будівельних господарствах.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ажогін, Ф.Ф. Гальванотехніка. Довідник/Ф.Ф. Ажогін, М.А. Біленький, І.Є. Галль. - М.: Металургія, 1987. - 736 с.
2. Азарко, О.Є. Електроосадження товстих твердих хромових покриттів з електролітів на основі тривалентного хрому / О.Є. Азарко, В.В. Кузнецов [та ін] // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1997. - Т.5. - №4. – С. 26–27.
3. Алексєєв, Г.І. Тверде хромування з добавкою «Лімед Х-2» / Г.І. Алексєєв, Ю.М. Колокольцев, Е.А. Кузнецов// Економія металу в гальванотехніці. Матеріали короткострокового семінару. - 1989. - С. 49-51.
4. Батищев, Д.П. Вплив комплексоутворюючої речовини на продуктивність хромування/Д.П. Батищев, Н.І. Корнійчук, І.М. Корнійчук // ВСХІЗО-агропромисловий комплекс. Збірник наукових трулопів. - Всеукраїнський. сіль-госп. ін-т. заоч. навчання. - 1995. - С. 249-250.
5. Бірюков, Н.Д. До питання про тетрoхроматні електроліти для хромування / Н.Д. Бірюков// Журн. прикл. хімії. - 1971. - Т.44. - № 9 - С. 1971-1975.
6. Бондар, В.В. Електроосадження аморфного хрому та сплавів на його основі / В.В. Бондар, Є.Г. Винокуров, В.М. Кудрявцев // Підсумки науки та техніки. Сер. Електрохімія / 1990. - Т.33. – С. 37–49.
7. Ващенко, С.В. Вплив добавки «СК» на електроосадження хрому за різних температур / С.В. Ващенко, Л.М. Солодкова, З.А. Соловійова [та ін] // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1997. - Т.5. - №3. – С. 16–21.
8. Ващенко, С. В. Електроосадження хрому з підвищеним виходом по струму з хромовокислих електролітів з органічною добавкою. / С.В. Ващенко, Л.М. Солодкова, З.А. Соловійов // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1993. - Т.2. - №4. – С. 15–18.
9. Ващенко, С.В. Про деякі фізико-механічні властивості хромових покриттів, отриманих із хромовокислих електролітів з органічними добавками /

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

С.В. Ващенко, І.Н. Солодкова, В.М. Кудрявцев // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2000. - Т.8. - №3. – С. 25–28.

10. Винокуров, Є.Г. Електроосадження модифікованих дисперсними частинками хромових покриттів та їх фізико-механічні властивості / О.Г. Винокуров, АМ Арсенкін [та ін] // Захист металів. - 2006. - Т.42. - №3. - С. 312-316.

11. Гамбург, Ю. Д. Гальванічні покриття. Довідник із застосування / Ю.Д. Гамбург. : Техносфера, 2006. - 216 с.

12. Густов, Ю.І. Дослідження конструкційно-технологічних та експлуатаційних показників будівельної техніки / Ю.І. Густов // Вісті КДАСУ. - 2014. - №4 (30). - С. 470-475.

13. Долматов, В.Ю. Одержання зносостійких хромових покриттів із застосуванням наноалмазів різної природи / В.Ю. Долматов, Т. Фуджимура, Г.К. Буркат [та ін] // Надтверді матеріали. - 2002. - №6. – С. 16–21.

14. Єдігарян, А.А. Про можливість заміни стандартних ванн хромування на сульфатно-оксалатні розчини Cr(III) / О.О. Єдігарян, Ю.М. Полукаров// Журнал прикладної хімії. - 2003. - Т.76. - №2. - С. 333-334.

15. Єдігарян, А.А. Електроосадження хрому та його сплавів із сульфатних розчинів Cr(III) / О.О. Єдігарян, Ю.М. Полукаров // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2001. - Т.9. - №3. – С. 17–18.

16. Єлінек, Т.В. Успіхи гальванотехніки. Огляд світової спеціальної літератури за 2016-2017 роки / Т.В. Єлінек // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2018. - Т.26. - №1. – С. 4–10.

17. Єлінек, Т.В. Успіхи гальванотехніки. Огляд світової спеціальної літератури за 2017–2018 роки // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2019. - Т.27. - №3. – С. 4–14.

18. Єфімов, Є.А. Кінетичні параметри реакції електровідновлення хромової кислоти до металевого хрому / О.О. Єфімов, Л.Д. Струм// Електрохімія.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- 1991. - Т.27. - №1. - С. 111-116.

19. Єфімов, Є.А. Спільне осадження хрому та кобальту / О.О. Єфімов, В.В. Чорних // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1992. - Т.1. - №5-6. – С. 30–32.

20. Зорін, В.А. Надійність механічних систем. Підручник для вузів. М: Вид. "ІНФРА-М", 2015. - 379 с.

21. Зорін, В.А. Основи працездатності технічних систем. Підручник для вузів. М.: ТОВ "Магістр-Прес", 2005. - 536 с.

22. Коломбіні, К. Застосування імпульсних джерел струму при твердому хромуванні / К. Коломбіні // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1993. - Т.2. - №3. – С. 58–61.

23. Корнійчук, І.М. Вплив комплексоутворюючої речовини на мікротвердість хромових покриттів / І. М. Корнійчук // ВСХІЗО – агропромисловий комплекс. Збірник наукових праць/ Всеукраїнськ. сільгосп. іп-р. заоч. навчання. - 1995. - С. 250-251.

24. Корнійчук, І.М. Вплив органічної добавки на електроосадження хрому з універсального електроліту / І.М. Корнійчук, Ж.І. Бобанова, О.М. Батишев// Електронна обробка матеріалів. - 1995. - №4. - С. 115.

25. Корнійчук, І.М. Інтенсифікація хромування відновлюваних деталей сільськогосподарської техніки: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.20.03 / Корнійчук Ігор Миколайович. - М. - 1996. - 17 с.

26. Корнійчук, Н.І. Вплив концентрації тривалентних з'єднань хрому деякі параметри холодного хромування. / Н.І. Корнійчук, О.В. Ковбасюк [та ін] // Праці Кишинівського СХІ. - 1975. - №144. – С. 17–23.

27. Корнійчук, Н.І. Гальваномеханічний спосіб відновлення деталей машин/Н.І. Корнійчук// Нові технологічні процеси відновлення деталей машин. - Кишинів: видавництво «Штіінця». - 1988. - С. 10-21.

28. Котомчин, О.М. Аналіз впливу неорганічних добавок на якість та

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

продуктивність хромових опадів / О.М. Котомчин, А.Ф. Синельников // Збірник статей XII Республіканська науково-практична конференція,

29. Котомчин, О.М. Вплив неорганічних добавок та умов електролізу хромування на якість одержуваних покриттів для відновлення та зміцнення деталей машин / О.М. Котомчин, А.Ф. Синельников, Н.І. Корнійчук // Транспорт: наука, техніка, керування. Наукова інформаційна збірка. - 2021. - №7. – С. 49–56.

30. Котомчин, О.М. Вплив вмісту 3-х валентного хрому в холодному саморегулюючому електроліті хромування на розсіювальну здатність / О.М. Котомчин, А.П. Ткаченко, Ю.Г. Ляхов// Colloquium-journal. - 2019. -№18(42). – С. 35–39.

31. Котомчин, О.М. Вплив умов експлуатації дорожньо-будівельних машин та спеціальних автомобілів на ресурс їх вузлів та агрегатів / О.М. Котомчин, Н.І. Корнійчук// Технічний сервіс машин. - 2019. - №2 (135). - С. 135-142.

32. Котомчин, О.М. Відновлення деталей вузлів та агрегатів техніки, що працюють при гідроабразивному зношуванні / О.М. Котомчин, Є.Ю. Ляхов// Ремонт. Відновлення. Модернізація. - 2019. - №5. – С. 8–12.

33. Кудрявцев, В.М. Товстошарове хромування з електролітів на основі сірчаноокислого хрому / В.М. Кудрявцев, Є.Г. Винокуров, В.В. Кузнєцов // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1998. - Т.6. - №1. – С. 24–30.

34. Малінін, В.Ф. Хромування уривчастим струмом з малокоцентрованих електролітів / В.Ф. Малінін, Е.А. Гранкін [та ін] // Захист металів. - 1987. - Т.23. - № 6 - С. 1036-1038.

35. Малінін, В. Ф. Електроосадження хрому з низькохромистого електроліту з високою рівномірністю розподілу по товщині /В. Ф. Малінін // Захист металів. - 1988. - Т.24. - №6. - С. 1020-1022.

36. Малінін, В.Ф. Умови електроосадження та фізико-механічні властивості покриттів з електролітів з низькою концентрацією хромового

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ангідриду / В.Ф. Малінін, А.І. Фалічева [та ін] // Фізико-механіч. св-ва гальваніч. та хіміч. покриттів металами та сплавами / Матеріали семінару. - 1986. - С. 74-76.

37. Молчанов, В.Ф. Хромування в електролітах, що саморегулюються. /В. Ф. Молчанов. - Київ.: Техніка, 1972. -155 с.

38. Москвичова, В.В. Тверді зносостійкі гальванічні покриття/В.В. Москвичова, А.М. Озерів, В.Т. Фомічев [та ін]. - М.: МДНТП, 1980. - С. 18.

39. Петров, Ю.М. Прогресивні способи відновлення деталей машин та підвищення їх міцності / Ю.М. Петров, Н.І. Корнійчук та ін. // Міжвузівська збірка наукових праць. - Кишинів: Кишинівський сільськогосподарський інститут ім. М.В.Фрунзе. - 1979. - С. 48-51.

40. Петров, Ю.М. Ремонт автотракторних деталей гальванічними покриттями/Ю.М. Петров, В.П. Косів, М.П. Стратулат. - Кишинів: Картя Молдовеняске. - 1976. - 150 с.

41. Петроченкова, І.В. Вплив умов електролізу на розсіювальну здатність електролітів хромування / І.В. Петроченкова, В.М. Допомагаєв, А.В. Волкович // Изв. вузів: Хімія та хімічна технологія. - 2009. - Т.52. - №6. – С. 54–57.

42. Петроченкова, І.В. Особливості впливу температури на здатність розсіювати електролітів / І.В. Петроченкова, В.М. Допомагаєв, А.В. Волкович// СБ. наукових праць: Успіхи в хімії та хімічній технології. - М. - 2004. - Т.18. – С. 42–44.

43. Петроченкова, І.В. Прогнозування рівномірності осадження гальванічних покриттів/І.В. Петроченкова, В.М. Допомога, та ін. // Изв. вузів: Хімія та хімічна технологія. - 2007. - №3. - С. 103-107.

44. Попов, Є.Р. Нанесення гальванічних покриттів хромом та його сплавами з електролітів на основі 3-х валентного хрому / Є.Р. Попов // У кн.: Екологічні проблеми у галузі гальванотехніки: Тези доповідей конференції. 22–25 квіт. 1991. - Київ. – С. 16–18.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

45. Попов, Є.Р. Електроліт хромування з універсальною саморегулюючою добавкою «ДХТІ-хром-12» / Є.Р. Попов, І.А. Ткаченка // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1993. - Т.2. - №10 - С. 39-41.

46. Практикум з прикладної електрохімії / За ред. Кудрявцева В.М., Варипаєва В.М. Л.: Хімія, 1990. - 304 с.

47. Ремонт дорожніх машин, автомобілів та тракторів. / За редакцією академіка Академії проблем якості, д.т.н., проф. Зоріна В.А. / 10-те видання. М.: "Майстерність", 2016. - 510 с.

48. Руденьок, В.А. Математична залежність щільності струму корозії основи від пористості хромових покриттів / В.О. Руденьок, О.В. Кузнєцова // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2019. - Т.27. - №1. – С. 17–19.

49. Савочкина, І.Є. Електроосадження хрому з низькотемпературних електролітів / І.Є. Савочкина, А.В. Фролова, Г.В. Халдєєв // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 1994. - Т.3. - № 5-6. – С. 38–40.

50. Смирнов, К.М. До питання про здатність електролітів, що криє / К.Н. Смирнов, Є.А. Архіпов, Д.В. Кравченко // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2015. - Т.23. - № 3. - С.30-34.

51. Солодкова, Л.М. Високопродуктивний електроліт зносостійкого хромування / Л. Н. Солодкова, С. В. Ващенко, В. Н. Кудрявцев // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2003. - Т.11. - №3. – С. 31–33.

52. Солодкова, Л.М. Вивчення механізму впливу добавки алкілсульфосполуки на швидкість електроосадження хрому / І.М. Солодкова, С.В. Ващенко, З.А. Соловйова // Електрохімія. - 2001. - Т.37. - №7. - С. 841-846.

53. Солодкова, Л.М. Дослідження плівки на катоді при електровідновленні хромової кислоти/Л.М. Солодкова, З.А. Соловйова // Електрохімія. - 1994. - Т.30. - №10. - С. 1254-1256.

54. Солодкова, Л.М. Катодний процес при осадженні хрому із хромовокислих електролітів з органічною добавкою / Л.М. Солодкова, С.В.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Ващенко, З.А. Соловйова // Електрохімія. - 1994. - Т.30. - №7 - С. 950-952.

55. Спиридонів, Б.А. Електроосадження покриттів сплавом хром-кобальт із сульфатних розчинів / Б.А. Спиридонів// Захист металів. - 2005. - Т.41. - №3. - С. 273-277.

56. Ткаченко, І.Д. Удосконалення технології хромування із застосуванням неорганічних та органічних композицій / І. Д. Ткаченко [та ін]. // Розробка та застосування твердих металевих покриттів. – Дніпропетровськ. - 1981. - С. 223-224.

57. TP 510-71 Технологічна рекомендація. Шліфування, суперфінішування та хонінгування хромованих поверхонь деталей з конструкційних високоміцних та цементованих сталей. НДАТ, 1971. - С. 11.

58. Фалічева, А. І. Дослідження процесу хромування з малокоцентрованих хромових електролітів у стаціонарному та імпульсному режимі електролізу / О.І. Фалічева, В.Ф. Малінін, Е.А. Гранкін// Захист металів. - 1982. - Т.18. - № 5 - С. 777-779.

59. Фалічева, А.І. Про механізм катодних процесів при хромуванні із хроматних електролітів / О.І. Фалічева, Р.І. Бурдикіна // Захист металів. - 1995. - Т.31. - №2 - С. 209-214.

60. Щербаков, А. М. Вивчення складу хромових покриттів / А. М. Щербаков // Гальванотехніка та обробка поверхні. - 2001. - Т.2. - №1. - С. 3-4.

61. Baraldi, P. На кінетики chromium electrodeposition on copper electrodes/ P. Baraldi, E. Soragni // J. Alloys and Compounds. - 2001. - № 317 - 318. - pp. 612-618.

62. Bobanova, JI Pulse Plating of Chromium./JI Bobanova, NI Tsintsaru ua // Buletinul Institutului Politehnic din Iași TXLIII (LII). / Supl. II. - 2002. -SectiaV. - pp. 139-142.

63. Bolch, T. Innovative Oberflächenstrukturen durch elektrochemische Beschichtungsverfahren./Т. Bolch, R. Linde ua//Galvanotechnik. - 2005. - №103. - pp.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

2095-2100.

64. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Galvanotechnik. 2005 №11, Teil 3: Katalysatorhaltige Elektrolyte, pp. 2619-2628.

65. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Galvanotechnik. 2005 №9, Teil 1: Chromsäurelösungen, pp. 2063-2071.

66. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Galvanotechnik. 2006 №12, Teil 11: Aufbau des Kathodenfilms, pp. 2888-2896.

67. Distelrath, A. Investigation of structured electrodeposition of hard chromium coatings / A. Distelrath, C. Jakob // Information technology and electrical engineering – devices and systems, materials and technologies for the future. - Ilmenau: 2009. - 379 p.

68. Distelrath-Lubeck, A. Untersuchung des Einflusses von Methansulfonsäure auf die Chromabscheidung aus Chromsäure-elektrolyten [Text] / A.

// Galvanotechnik. - 2011. - №102. - pp. 2647-2657.

69. Duan, S. Plating and Surface Finishing. / S. Duan, H. Li, X. Zhang, J. Dash // Jure, 1995. - V.82. - №6. - Pp. 84–86.

70. Dubpernell, G. Eigenschaften von Chromüberzügen aus Chromsäure-Elektrolyten / G. Dubpernell, D. Kenney // Galvanotechnik. - 2002. - Bd. 93. №6 – pp. 1466-1469.

71. Funktional chromium plating. Newby Kenneth R. Metal Finishing. - 1991. - v.89. - № 1A - 188 p.

72. Кудрявцев, В.Н. Верхромунгсбаехер з хогером stromausbeute / В.Н. - 1997. - V.88. – №8 – pp. 2581-2583.

73. Metzner, M. Nasse Kombinationen - Funktionelle Oberflächen durch elektrochemische In-situ-Strukturierung [Text] / M. Metzner, T. Bolch, R. Linde, K. Mull // Metalloberfläche. - 2003. - №57. - pp. 18–22.

74. Metal Finishing. Guidebook and Directory Issue, запроваджений за допомогою Metal Finishing magazine. - 2004. - v.102. - 870 p.

75. Mühle, A. Verbesserung der Schichteigenschaften von Hartchrom durch

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Legierung sabscheidung / A. Miidle // Galvanotechnik. 2004. - v. 95. - № 10. - pp. 2412-2416.

76. Newby Kenneth, R. Functional chromium plating / R. Newby Kenneth // Metal Finish. - 2004. - v.102. - № 4A. - pp. 188-198.

77. Repenning, D. Nanodispersionsgehartete Chromschichten / D. Repenning // Galvanotechnik. 2000. - V.91. - №10. - Pp. 2878-2883.

78. Tsyntsaru, NI Посібник стандарту Chrome-Plating Electrolyte in Plating with Constant and Pulsed Currents / Tsyntsaru, NI, Yakovets IV ua //. Surf. Engineering Applied Electrochem. - 2005. - v.41. - № 1. - pp. 11-16.

					ДРМТВА 22.190723.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70