

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

Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»


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

на тему: «Відновлення автотракторних деталей шляхом
електроосадження заліза легованим кобальтом»

Шифр: МРТАМ 22.17059.000. ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВАм -21-1  А.А. Сергієв

Керівник  д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

1 12 2022_р.

Хмельницький, 2022 р.

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 15 " жовтня 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Сергієв Артем Анатолійович

1. Тема проекту:
«Відновлення автотракторних деталей шляхом електроосадження заліза легованим кобальтом»

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

Затверджено наказом університету від 01 липня 2022р. № 83
2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 15.12.2022 р.
3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови на експлуатацію та ремонт деталей автотракторних двигунів та техніки.
- 2) Річна програма ремонту деталей.
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Аналіз технологій електроосадження покриттів
2. Обґрунтування зміцнення електроосадженого заліза кобальтом
3. Характеристика технологій, матеріалів, устаткування
4. Результати експериментальних досліджень покриттів та їх аналіз
5. Технології відновлення та експлуатаційні випробування деталей з покриттями

5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Аналіз техноогій електроосадження покриттів	1.11.2022	
2	Обґрунтування зміцнення електроосаженого заліза кобальтом	15.11.2022	
3	Характеристика технологій, матеріалів, устаткування	1.12.2022	
4	Результати експериментальних досліджень покриттів та їх аналіз	5.12.2022	
5	Технології відновлення та експлуатаційні випробування деталей з покриттями	10.12.2022	
6	Оформлення презентаційних матеріалів	15.12.2022	

Студент

Сергійв А.А.

Керівник роботи

Диха О.В.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 101 сторінок, кількість рисунків – 20, таблиць – 9, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 78.
Студент гр. МТВАМ-21-1 Сергієв А.А.

Тема «Відновлення автотракторних деталей шляхом електроосадження заліза легованим кобальтом»

Дана магістерська дипломна робота спрямована на підвищення зносостійкості електроосадженого заліза для відновлення зношених автотракторних деталей шляхом легування кобальтом з подальшою термічною обробкою.



Для реалізації цієї мети були вирішені наступні завдання:

1. Систематизовані та узагальнені літературні дані для вибору та вдосконалення гальванічних покриттів для відновлення та зміцнення зношених автотракторних деталей;
2. Оптимізований склад електроліту та режими електролізу методом математичного планування для отримання максимальної зносостійкості електролітичного покриття;
3. Досліджений вплив режимів електролізу та термічної обробки на експлуатаційну надійність відновлених деталей;
4. Розроблена технологія відновлення та зміцнення зношених автотракторних деталей електроосадженими залізокобальтовими покриттями..

Перелік ключових слів: електроосадження, залізо, кобальт, відновлення, електроліз, зношування

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. Аналіз техноогій електроосадження покриттів.....	9
1.1. Номенклатура деталей, які потребують відновлення.....	9
1.2. Сучасні способи відновлення автотракторних деталей.....	12
1.3. Застосування легуючих добавок при відновленні твердим залізом.....	15
1.4. Електролітичне осадження металів на струмі змінної полярності.....	28
1.5. Термічна обробка електролітичного сплаву.....	34
2. Обґрунтування зміцнення електроосадженого заліза кобальтом.....	37
3. Характеристика технологій, матеріалів, устаткування.....	47
3.1. Технологія нанесення покриттів.....	47
3.2. Методика дослідження структури та фізико-механічних властивостей покриття.....	50
4. Результати експериментальних досліджень покриттів та їх аналіз.....	57
4.1. Залежність мікротвердості та вмісту легуючого елемента покритті від умов електроосадження.....	57
4.2. Результати досліджень міцності зчеплення покриттів з основним металом.....	66

МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
				
Розроб.	Сергієв			
Перевір.	Диха			
Н.контр.	Бабак			
Затвер	Диха			
Технологія плазмового оплавлення та підвищенні абразивної зносостійкості електрометалізаційних покриттів			Літ.	Аркуш
			4	101
ХНУ, гр. МТВАм-21-1				

4.3. Дослідження зносостійкості електроосадженого залізокобальтового сплаву.....	71
4.5. Порівняльна зносостійкість Fe–Co покриттів.....	77
5. Технології відновлення та експлуатаційні випробування деталей з покриттями.....	82
5.1. Лабораторні випробування працездатності валу ротора турбокомпресора, відновленого залізокобальтовим покриттям.....	82
5.2. Експлуатаційна перевірка працездатності валу ротора турбокомпресора, відновленого залізокобальтовим покриттям.....	83
5.3. Виробничі рекомендації для відновлення деталей електролітичними залізокобальтовими покриттями.....	85
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	89
Додатки.....	96

Вступ

В даний час особливий інтерес для ремонтного виробництва є способом електролітичного осадження металу на зношені поверхні деталей. Розробки в цій галузі дозволяють отримувати покриття з різною твердістю і зносостійкістю, рівномірну товщину по всій поверхні, що нарощується, можливість одночасного відновлення великої кількості деталей, застосування автоматизації, що знижує виробничі витрати на кожний виріб.

У електротехнології особливе місце відводиться електролітичним покриттям через їх високий техніко-економічний показник. Найбільш важливими вважається наступний ряд показників: відсутність термічної дії на відновлювану деталь, яка може призвести до зміни структури, можливість отримання покриттів із заздалегідь заданими фізико-механічними властивостями, а також покриттів з розвитком певної властивості (антифрикційність, зносостійкість та ін.) за рахунок зміни режиму електролізу та застосування певного легируючого елемента.

Найбільш перспективним економічної ефективності з електролітичних способів відновлення автотракторних деталей є залізнення в хлоридних електролітах через можливість отримання широкого спектра різних фізико-механічних властивостей покриттів. Залізнення в хлоридних електролітах має ряд переваг: найбільш висока швидкість осадження металу (0,3–0,35 мм/год), товщина отриманих покриттів до 3 мм, вихід металу по струму 84–96 %, використання недорогих та недефіцитних вихідних матеріалів, гарна прироблюваність відновлених деталей.

Проте в даний час для підприємств, пов'язаних з ремонтом зношених автотракторних деталей, чисте електролітичне залізо не відповідає вимогам за своїми фізико-механічними властивостями.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Як показує практика, близько 86% автотракторних деталей виходять з ладу при зношуванні не більше 0,3 мм і близько 14% вибраковуюються через поломки.

Виходячи з усього сказаного вище, вважаємо, що для підвищення зносостійкості відновлених автотракторних деталей необхідно застосовувати електролітичні леговані покриття з подальшим зміцненням.

Проведене нами дослідження спрямоване на вирішення актуальної проблеми: зміцнення електроосадженого заліза шляхом легування його кобальтом, оскільки відомо, що він має найбільш ефективні якості зниження коефіцієнта тертя ливарних і електролітичних сплавів [1].

У нашому випадку покриття осідали з хлоридного електроліту. У цьому електроліті процес осадження можна вести при високих щільності струму. Як кобальтову добавку застосовувався хлорид кобальту. При осадженні на постійному струмі з електроліту того ж складу гальванопокриття, що вийшло, мали низьку міцність зчеплення і високу внутрішні напруження. Електролітичний процес проходив при високій температурі електроліту і був малопродуктивним (низька швидкість електроосадження покриття), що економічно неефективно для ремонтних підприємств. Для усунення цих недоліків ми використовували нестационарний режим електролізу. Застосування періодичного (асиметричного) струму виявилось найефективнішим нашої роботи.

Таким чином, дане дослідження спрямоване на розробку та вивчення нового способу одержання та нанесення залізокобальтового покриття на зношені автотракторні деталі.

Мета роботи полягає у підвищенні зносостійкості електроосадженого заліза для відновлення зношених автотракторних деталей шляхом легування кобальтом з подальшою термічною обробкою.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Для реалізації цієї мети були поставлені та вирішені наступні

завдання:

- систематизувати та узагальнити літературні дані та результати власних досліджень для вибору та вдосконалення гальванічних покриттів, застосованих для відновлення та зміцнення зношених автотракторних деталей;
- вивчити закономірності формування структури та фазового складу залізокобальтових покриттів залежно від концентрації легуючого елемента та режимів електроосадження;
- оптимізувати склад електроліту та режим електролізу методом математичного планування для отримання максимальної зносостійкості електролітичного покриття;
- дослідити вплив режимів електролізу та термічної обробки на експлуатаційну надійність відновлених деталей;
- вивчити та розробити технологію відновлення та зміцнення зношених автотракторних деталей електроосадженими залізокобальтовими покриттями.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. Аналіз техноогій електроосадження покриттів.

1.1. Номенклатура деталей, які потребують відновлення

Значення величини зносу автотракторних деталей за умов експлуатації необхідне обгрунтованого вибору способів їх відновлення. Відомо, що товщина шару металу, що наноситься на деталі, визначається величиною зносу і припуском на обробку. З іншого боку і експлуатаційні властивості металопокриттів, що визначають довговічність деталей, більшою мірою залежать від товщини шару, що наноситься. Економічна ж доцільність застосовуваних способів відновлення прямим чином пов'язана з товщиною покриттів, так як від величини останньої залежать тривалість процесу нанесення покриттів, витрата матеріалів та ін. 1.1).

Таблиця 1.1. Номенклатура автотракторних деталей, які потребують відновлення

Найменування деталі	Значення зносу, мм
Колінчастий вал	0,14 ... 0,2
Розподільний вал	0,20 ... 0,25
Вал ведучий коробки передач	0,02...0,1
Поворотний кулак	0,04 ... 0,06
Шворень	0,02...0,04
Труба півосі	0,22..0,32
Хрестовина диференціалу	0,03 ... 0,1
Шатун	0,05 ... 0,2
Важіль верхній лівого поворотного кулака	0,04 ... 0,06
Деталі паливного насосу і карбюратора	0,06 ... 0,1
Впускний та випускний клапан	0,20 ... 0,22
Коромисло	0,1...0,3
Тягач	0,05 ... 0,08
Вал ротора турбокомпресора	0,3...0,35

Нині є проблема відновлення валу ротора турбокомпресора вітчизняної та імпортової автотракторної техніки, т.к. Найпоширенішим способом відновлення цієї деталі є заміна її на нову. Конструкції імпортованих та вітчизняних турбокомпресорів (ТКР) у своїй основі є ідентичними. У

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

розташуванні окремих елементів і розмірах деталей спостерігаються відмінності, т.к. вони призначені до роботи з різними двигунами. У різних модифікацій ТКР одного типорозміру відрізняється в основному корпус турбіни (підведення вихлопних газів та кріплення на двигуні), рідко – корпус компресора, колеса та турбіни, кут повороту корпусу компресора, турбіни та середнього корпусу відносно один одного. Турбокомпресор складається з трьох частин: корпусу компресора (компресорного равлика), середнього корпусу (картриджа), який являє собою підшипниковий вузол, і корпуси турбіни (равлик турбіни). Картридж включає вал ротора з турбінним і компресорними колесами. Обертання відбувається в підшипнику ковзання стаціонарного корпусу, що забезпечує підведення мастильного матеріалу у вузол тертя валу. Загальний вигляд турбокомпресора представлений рисунку 1.1.



1 – корпус компресора; 2 – середній корпус; 3 – корпус турбіни

Рисунок 1.1. Турбокомпресор Garrett GT2049S для двигуна 2.0 TDI "DuraTorq" Ford Transit V

У процесі роботи турбокомпресор зазнає великих температурних і знакозмінних навантажень. Номінальні частоти обертання валу ротора сучасних ТКР становлять до 60 000 хв-1. Температура газів із випускного колектора досягає 700 °С, а температура деталей корпусу становить 90–160 °С з компресорної сторони та 670–720 °С – з боку турбіни. Втулка

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

підшипника приймає навантаження при обертанні валу ротора як і осьовому, і у радіальному напрямі, тобто. одночасно є завзятим та радіальним підшипником. Маслоподача під тиском із системи змащення двигуна необхідна для змащення підшипників. Проаналізувавши джерела інформації про несправності ТКР, встановлено, що понад 90% дефектів виникає через поломку картриджа, а саме через аварійне зношування в поєднаннях вал ротора - підшипник. Заміна цього несправного вузла на новий становить близько 70–80 % вартості ТКР і не завжди можлива у зв'язку з відсутністю у продажу, тому що виробники ТКР, особливо імпорتنі, поставляють свою продукцію тільки в зборі. На ринку запасних частин для турбокомпресорів представлений асортимент деталей-аналогів для оригінальних ТКР, таких як картридж і окремі його деталі - вал ротора і підшипник ковзання. Однак із перелічених деталей високим попитом користується підшипник ковзання у зв'язку з тим, що він має невисоку вартість. Вал ротора – складніша у виготовленні та важлива при експлуатації ТКР деталь, тому його вартість становить близько 40–50 % вартості ТКР і виробник цього аналога не дає гарантії термін служби деталі. Зношування до повної відмови валу ротора турбокомпресора становить 0,3-0,35 мм.



Рисунок 1.2. Загальний вигляд валу ротора турбокомпресора фірми Garrett GT2049S для двигуна 2.0 TDI DuraTorq автомобіля Ford Transit V

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2. Сучасні способи відновлення автотракторних деталей

Нова автотракторна техніка, що надходить в експлуатацію, потребує високоякісного технічного обслуговування та ремонту, тому питання впровадження на ремонтних підприємствах прогресивних способів відновлення деталей є невідкладним. Сучасні способи відновлення повинні бути найбільш рентабельними та забезпечують довговічність відремонтованих деталей. Для вирішення цього питання в галузі автотракторної техніки ремонтне підприємство має бути організоване на рівні сучасної машинобудівної промисловості.

Якість ремонту автотракторної техніки та підвищення термінів його служби великою мірою залежить від того, якими способами здійснюється відновлення зношених чи пошкоджених деталей.

Автотракторні деталі, що потребують ремонту, мають досить різноманітні дефекти. Вони можуть виникнути в процесі експлуатації техніки внаслідок конструктивних недоробок окремих вузлів та відступів від технічних умов при їх виготовленні або через порушення правил технічної експлуатації автомобілів та тракторів, а також природного зношування.

Сучасна автотракторна техніка має досить досконалу конструкцію, а її виробництво є одним із передових у галузі машинобудування. Тому дефекти деталей з конструктивних або виробничих причин (через неправильний вибір матеріалу деталей або посадок сполучення, незадовільну якість механічної та термічної обробки) з'являються вкрай рідко. Умови експлуатації техніки, технічне обслуговування та ремонт можуть зробити як позитивну дію, уповільнюючи процес виникнення дефектів від природного зношування, так і негативне, викликаючи прискорене зношування та різні пошкодження деталей. Дефекти деталей проявляються не відокремлено один від одного, а комплексно, у поєднанні зношування та різних пошкоджень. Питання експлуатаційних та ремонтних вимог до конструкції автотракторної

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

техніки неодноразово піддавалися обговоренню у періодичній пресі та їм присвячені роботи С.П. Баженова [2], В.М. Власова [3] та Є.С. Кузнецова [4]. Найбільш характерні дефекти, що зустрічаються в деталях, можна поділити на зношування, аварійні пошкодження та газову корозію. Найчастіше вони виникають через природне зношування деталей.

Для відновлення повної працездатності зношених деталей необхідно повернути їм початкові розміри, геометричну форму і поверхневі властивості, насамперед твердість, оскільки всі властивості серцевини, як правило, зберігаються, якщо не брати до уваги окремих випадків зародження втомних тріщин у процесі зношування. У цьому випадку взаємозамінність деталей та посадка сполучення відновлюються повністю.

Однак на практиці застосовується і відновлення лише геометричної форми деталей шляхом надання їм ремонтних розмірів більше або менше початкового. Хоча посадка сполучень при цьому відновлюється, взаємозамінність зберігається лише частково, в межах даного стандартного ремонтного розміру, а при вільних ремонтних розмірах зовсім порушується. Надання деталі ремонтного розміру та правильної геометричної форми проводиться механічною.

обробкою.

У зв'язку з цим особливий інтерес є відновлення зношених автотракторних деталей із застосуванням різних способів. До способів відновлення деталей відносяться: відновлення деталей пластичним деформуванням, відновлення деталей наварюванням металевого шару, наплавлення, відновлення деталей газотермічним напиленням, відновлення деталей гальванопокриття (хромування, залізнення). Всі вони, хоч і не є рівнозначними, більшою чи меншою мірою використовуються в ремонтному виробництві залежно від його обсягу та оснащеності. Розглянемо докладніше сутність кожного їх.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Метод відновлення пластичним деформуванням набув широкого поширення, але має суттєві недоліки і не може бути передовим способом, що відповідає сучасним вимогам до подальшого розвитку ремонтного виробництва. До основних недоліків даного способу відносяться: зміна фізико-механічних властивостей і утворення тріщин на деталі, що відновлюються [5, 6].

Наварювання металевго шару застосовується для усунення різних тріщин, для приварювання відколів і відламів у чавунних литих деталях, а також широко використовується при ремонті рам, кабін, крил. Доцільність відновлення деталей даним методом та область використання різних видів зварювання визначається ступенем пошкодження та призначенням деталі. У роботах А.А. Зуєва [7, 8] представлена технологія відновлення колінчастих валів за допомогою приварювання на режимах, що щадять, до шийки розрізної ремонтної втулки.

Для відновлення розмірів та геометричної форми деталей замість наварювання металевго шару широко застосовується наплавлення, що відноситься до металопокриттів. Вона дозволяє відновлювати зношені деталі під початкові розміри із забезпеченням взаємозамінності. У цьому полягає велика перевага в порівнянні з іншими способами. У роботах Н.М. Ожегова [9, 10] розглядаються питання забезпечення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин шляхом нанесення зміцнюючого шару наплавленням. Методи відновлення деталей металопокриття застосовуються і за кордоном [11–14].

В даний час однією з основних проблем є відновлення паршень - гільза в відремонтованих двигунах. Можливі шляхи вирішення цієї проблеми у своїх роботах пропонує В.Я. Сковородін [15, 16]. Автор вивчає застосування нових антифрикційних матеріалів для відновлення пару паршень – гільзи.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Метод газотермічного напилення полягає у нанесенні покриття на відновлювану деталь шляхом газового струменя порошку, який нагрітий до рідкого стану. Даний спосіб малоефективний для відновлення дрібних деталей через низький коефіцієнт використання напилюваного матеріалу.

Електролітично обложений хром має дуже високі фізико-механічні властивості. Відновлення деталей хромування найбільш докладно розглянуто Д.В. Колмиковим [17]. Однак цей метод має ряд істотних недоліків: зниження втомної міцності до 27 %, дуже маленький вихід металу по струму 13–15 %, погана змочуваність відновленої поверхні мінеральним маслом.

На сьогоднішній день найбільш передовим способом відновлення деталей є електролітичне осадження заліза та сплавів на його основі, що дозволяє повертати в дію величезну кількість зношених дорогих деталей із забезпеченням їхньої взаємозамінності [18–22]. До переваг даного методу можна віднести високу зносостійкість, велику швидкість осадження 1-1,2 мм/год, високий вихід металу струмом 75-95%, отримання товщини покриття 1 мм і більше, низьку вартість компонентів електроліту і можливість їх виготовлення на місці.

Отже, нині найперспективнішим методом відновлення автотракторних деталей є залізнення. Даний метод займає велике місце в ремонтному виробництві і покликаний зіграти велику роль надалі, особливо при централізованому ремонті деталей, а також спосіб підходить для відновлення номенклатури деталей представленої в таблиці 1.1.

1.3. Застосування легуючих добавок при відновленні твердим залізом

Чисте електролітичне залізо було отримано Б.С. Якобі та Є.І. Клейном. З цього приводу Б.С. Якобі писав: «Це відкриття належить лише нашій країні і може бути ніким оспоримо» [23]. Саме відкриття, здійснені тим часом,

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

вважатимуться революційним поштовхом до розвитку електролітичного осадження металів.

Б.С. Якобі та Є.І. Клейн проводили перші дослідження властивостей заліза, отриманого із сірчаноокислих електролітів, згодом ними було запропоновано наступний склад електроліту та режим електроосадження: сульфат заліза (II) – 200 кг/м³, сульфат магнію – 50 кг/м³, катодна щільність струму 0,1–0,3 А/дм², температура електроліту 20–40 °С. У тому році Б.С. Якобі та Є.І. Клейн практично застосували сірчаноокислий електроліт для нанесення електролітичного залізного покриття на мідні кліше та друковані дошки з метою підвищення їхньої зносостійкості.

[24].

Роботи Б.С. Якобі, Є.І. Клейна започаткували широке використання в друкованій справі так званих «холодних» електролітів, осадження заліза в яких здійснюється без нагріву, при кімнатній температурі і при малих щільності струму. Завдяки порівняно високій твердості одержуваних опадів заліза процес їх отримання

вітчизняної та зарубіжної літератури було названо залишенням.

Професор Р.Е. Ленц досліджував властивості заліза, обложеного ним способом Е.І. Клейна, і виклав свої спостереження у праці «Поглинання газів електролітичним залізом». Ця робота дозволила зробити висновки про те, що в електролітичних осадах заліза є водень, який у свою чергу впливає на фізико-механічні властивості покриття, а зокрема, збільшує твердість і крихкість. Спостереження Ленца пізніше було підтверджено у працях Ф. Габера. З того часу залізнення стало широко використовуватися в народному господарстві як основний метод зміцнення поверхонь деталей, переважно виготовлених з вуглецевої сталі. В результаті розвитку ремонтного виробництва застосування даного виду відновлення деталей різної техніки було поширеним та затребуваним.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Процесу осадження заліза з холодних електролітів присвячено дуже значну кількість досліджень (Н. Лангбейна, К. Біндера, В. Бертольда та ін.), в яких для потреб поліграфії була розроблена велика рецептура холодних електролітів для отримання твердих товстих і тонких опадів заліза. У своїх роботах Ф. Фестер та А. Кофетті встановили залежність потенціалу виділення заліза від катодної щільності струму.

При подальшому розвитку різних галузей промисловості виникла потреба у значних кількостях чистого заліза, що має деякі специфічні властивості (магнітні, електричні, технологічні). У зв'язку з цим перед гальванотехніками було поставлено завдання отримання м'якого електролітичного заліза будь-якої товщини за високої продуктивності процесу. Для вирішення поставленого завдання застосовували гарячі електроліти з температурою 95-105 °С. Це послужило виникненню у роки Першої світової війни нової галузі виробництва – електролітичного рафінування заліза, або електрометалургії водних розчинів солей заліза. Розвиток цієї галузі базувався виключно на використанні хлоридних електролітів. Електроліти інших типів (сірчаноокислі, лужні та ін.) були досвідченими та промислового використання не отримали.

Отже, можна дійти невтішного висновку у тому, що у практиці отримання електролітичних залізних опадів застосовувалося два види електролітів: холодні і гарячі. У першому вигляді електролітів процес проходив без нагріву. Основним недоліком при використанні даних електролітів була мала щільність струму (від 0,1 до 1,0 А/дм²). Оскільки швидкість електроосадження заліза на низьких щільностях катодного струму невисока, холодні електроліти не знайшли подальшого застосування відновлення деталей машин електролітичними методами. Тому з метою підвищення продуктивності процесу електролітичного осадження та покращення якості одержуваних опадів подальші дослідження

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

електролітичного нарощування покриттів виготовлялися з гарячих електролітів.

Академік Ю.М. Петров вивчив вплив речовин, які у електроліті, і режим електролізу на фізичні і механічні властивості електролітичних покриттів і показав, що з звичайних гарячих хлоридних електролітів виходять покриття з механічними властивостями (200–240 кг/мм²).

Невисока твердість покриттів, отриманих з хлоридних електролітів при рекомендованих режимах електролізу, показала необхідність проведення низки робіт з дослідження способів зміцнення залізних покриттів. Так, у другій частині своєї роботи Ю.М. Петров розглянув питання вплив органічних добавок на механічні властивості покриттів і запропонував дві нові добавки в хлоридний електроліт (гліцерин і цукор-гліцерин), що дозволяють отримувати покриття з твердістю 3200-7000 МПа.

Слід зазначити також наукові праці В.П. Ревякіна, І.К. Мінькова та А.П. Смелова, які вивчали отримання більш міцних катодних опадів з хлоридних електролітів, що містять солі марганцю, нікелю, кобальту та хрому. Результати цих досліджень показали можливість одержання сплавів заліза з кобальтом, нікелем та хромом, що мають порівняно з опадами заліза підвищені (на 20 – 40 %) механічні властивості.

Надалі вітчизняними та зарубіжними вченими запропоновано сірчаноокислі електроліти, до складу яких для підвищення фізикомеханічних властивостей покриття входять органічні та неорганічні добавки.

Так, наприклад, Б.Є. Кожаків та К.С. Ібіщев [27] займалися електроосадження покриттів з електроліту, що містить наступні речовини, кг/м³: сульфат заліза (II) - 200-250; сульфат магнію – 150–180; борна кислота – 25–30; фторид натрію – 1-2; сірчана кислота - 1,5-21; сульфат тінанілу та амонію – 4–5. Однією з переваг цього електроліту була підвищена стійкість до окислення повітря при його зберіганні. Електролітичні покриття, отримані внаслідок осадження

									Арк.
									18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

в даному електроліті, мають високу мікротвердість і зносостійкість.

У статтях та авторських свідоцтвах Н.Т. Кудрявцева та Л.А. Яковлевої [28] вивчалися умови отримання щільних, товстих залізних покриттів підвищеної твердості із сірчаноокислих розчинів заліза зі стабілізуючими добавками $Al_2(SO_4)_3$ та K_2SO_4 , що оберігають електроліт від окислення. В результаті експериментів був встановлений оптимальний склад електролітів, що забезпечує отримання твердих (250-600 кг/мм²) зносостійких опадів заліза при температурі електроліту від 20 до 70 °С і щільності струму від 3 до 15 А/дм².

Таким чином, електроліти для залізнення розділені на дві основні групи: кислі розчини, що містять залізо у вигляді гідратованих іонів, і лужні розчини, до складу яких входить залізо тривалентне і різні комплексні сполуки. Для отримання електролітичних залізних опадів запропоновані хлоридні, сульфатні, фторборатні, борфтористо-водневі, фенолсульфонові, кремнефтористі, органічні та інші електроліти.

Н.Т. Кудрявцев [26] та М.М. Мельникова [29] вивчали умови отримання твердих опадів заліза із борфтористо-водневих електролітів. В результаті проведених досліджень запропоновані склади борфтористо-водневих електролітів (борфтористо-водневе залізо і борна кислота), що працюють при знижених температурах (20 - 40 °С) і мають більш високі показники продуктивності процесу та якості одержуваних покриттів.

Л.А. Яковлева та Ш.І. Чалаганідзе [30] для одержання твердих опадів заліза запропонували фенолсульфоновий електроліт. Згідно з досвідченими даними, наведеними авторами, опади заліза із зазначеного електроліту характеризуються гарною зчеплюваністю з основою і мають високі механічні властивості ($H = 400 - 790$ кг/мм² та $B_v = 41 - 57$ кг/мм²) при товщині до 0,3 мм. Процес осадження заліза відрізняється високим виходом

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ					

металу струмом від 72 до 99,8 % і здійснюється при щільності струму до 10-12 А/дм².

Найбільшого поширення у ремонтному виробництві знайшли кислі електроліти, зокрема, хлоридні, основні переваги яких у простоті хімічного складу, великої швидкості нарощування покриття (процес електролізу можна вести при високих щільності струму), високої електропровідності, отриманні покриттів необхідної товщини. Існує три типи хлоридних електролітів: висококонцентровані – з підвищеною концентрацією хлориду заліза (500–700 кг/м³), середньоконцентровані – із середньою концентрацією хлориду заліза (400–450 кг/м³) та малоконцентровані – із низькою концентрацією хлориду заліза (200–250 кг) /м³).

У разі ремонтного підприємства цього виду електроліту пред'являються підвищені вимоги [31]:

- 1) отримання на відновлюваних деталях товстих електролітичних покриттів із необхідними механічними властивостями;
- 2) регулювання процесу електролізу з метою отримання електролітичних покриттів у суворій відповідності із заданим режимом;
- 3) максимальна продуктивність процесу отримання електролітичних покриттів;
- 4) надійність та простота електроліту за складом;
- 5) недефіцитність та дешевизна матеріалів, з яких готується електроліт;
- 6) простота контролю та коригування електроліту.

Говорячи про гарячі хлоридні електроліти, необхідно розглянути роботу М.П. Мілкова. Під його початком проводилися дослідження впливу речовин, що входять до складу електролітів, та умов електроосадження на фізичні та механічні властивості одержуваних покриттів, а надалі був розроблений спосіб попередньої підготовки поверхні для забезпечення

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

гарного зчеплення електролітичних покриттів з основою. У результаті було встановлено режим для електроосадження (температура

електроліту 60–80 °С, катодна щільність струму 20 А/дм²), склад електроліту (хлорид заліза 200 кг/м³, соляна кислота 0,6–0,8 кг/м³), технологічний процес підготовки поверхонь деталей та електроосадження покриттів [32]. Склад електроліту, запропонований вченим, допомагає отримати щільні дрібнозернисті опади з хорошими механічними властивостями (твердість покриттів досягає 4500-6300 МПа) та високу швидкість осаження, що досягає 0,4-0,5 мм/год.

З наведених даних, випливає, що чисте залізо, електроосажене з хлоридних електролітів, має мікротвердість від 4500-6500 МПа [33, 34]. В даний час розширення сфери застосування машин і механізмів супроводжується переходом до все більш важких і незвичайних умов експлуатації. Як відомо, вироби машинобудування на 75–80 % складаються із вузлів тертя. Забезпечення працездатності багато в чому визначається стабільною роботою пар тертя. Незважаючи на інтенсивність розвитку, все частіше конструкційні матеріали масового застосування не відповідають вимогам, що висуваються до нової техніки та технології. Великі труднощі, наприклад, виникають при виборі та призначенні триботехнічних матеріалів з високою працездатністю для швидкісних пар тертя, центрифуг, ущільнень та кріплення важко навантаженого автомобільного та гусеничного транспорту, зубчастих передач, зачеплень, ріжучих елементів, інструменти для обробки твердих сплавів та керамічних матеріалів. Умови експлуатації сучасних вузлів тертя поєднують високі контактні тиски в зонах тертя зі значними швидкостями переміщення поверхонь, що труться.

Таким чином, основні вимоги до відновлених деталей – це стійкість та зносостійкість при високих температурах та в агресивних середовищах [35]. Вирішити це питання можна двома способами:

1. Зміцнення електроосаджених покриттів за допомогою термообробки.

										Арк.
										21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2. Поліпшення фізико-механічних властивостей гальванічних покриттів за допомогою введення різних добавок, що легують, в електроліт.

Перший спосіб надання сплавів заданої структури та властивостей - це термічна обробка. Виділяють три види обробки: хімікотермічну, термічну та термомеханічну.

При термообробці металів та сплавів відбувається зміна внутрішньої структури в процесі нагрівання, витримки та подальшого охолодження для отримання необхідних фізико-механічних властивостей. До основних видів даної обробки відносять відпал, загартування та відпустку.

Хіміко-термічна обробка, або ХТО – це поверхове насичення металу елементами, які підвищують зносостійкість, твердість, корозійну стійкість. У цьому процесі потрібна підвищена температура та тривала витримка. До основних методів хіміко-термічної обробки відносять цементацію (насичення вуглецем), азотування (насичення азотом), ціанування (одночасне насичення вуглецем та азотом), дифузійну металізацію або поверхневе легування. Останній метод залежно від елемента, яким насичують поверхневий шар, поділяють на хромування (насичення хромом), алітування (насичення алюмінієм), силікування (насичення кремнієм) [36].

Термомеханічна обробка - це метод обробки металів, який дозволяє підвищити механічні властивості в порівнянні зі звичайним гартуванням або відпусткою. Вона полягає у поєднанні пластичної деформації та термообробки [37].

Таким чином, існуючі методи термічної обробки дозволяють значно підвищити поверхневу твердість, зносостійкість сталевих деталей, а також їх міцність втоми, оскільки створюють в поверхневих шарах напруги стиснення [38]. Очевидно, що використовуючи методи термічної обробки можна радикальним чином підвищити зносостійкість та інші експлуатаційні властивості гальванічних покриттів на основі заліза.

										Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ					

Зміцненням покриттів з допомогою термічної обробки займалися В.І. Андрюшечкін, В.І. Архарова, Ю.М. Грибоедов, А. Брамлей, Ф. Гальміша та багато інших вчених. Робота даних дослідників була спрямована на підвищення механічних властивостей електроосаджених залізних покриттів (міцність зчеплення, твердість, зносостійкість). В результаті проведених експериментів було зроблено висновок про те, що термообробка збільшує твердість та зносостійкість електролітичних покриттів [39, 40].

Нині другого способу, тобто. введення легуючих елементів, проявляється інтерес з боку дослідників через можливість отримання покриттів з новими фізичними, механічними та хімічними властивостями.

Так, наприклад, до 1965 року вченими було встановлено можливість електролітичного осадження 132 бінарних сплавів, а 1970 року їх відкрито вже 220. Однак утворювати електролітичні сплави з водних розчинів можуть лише 22 елемента [41]. Це Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, C, P, S, Pb, Ag, Cd, Zn, Ge, Mo, Re, Au, Pd, Co, Sn, Ta, W. Широке поширення у ремонтному виробництві отримали не всі з них. Це багато в чому пов'язано з тим, що отримання електролітичних сплавів є складним процесом, який вимагає постійного контролю та регулювання [42].

П.А. Коваленко, Л.М. Мясковський, Л.І. Каданер [43] вивчали можливість осадження сплавів титану із залізом із кислих електролітів. Рентгеноструктурний аналіз цих сплавів показав, що вони представляють механічну суміш титану та хімічної сполуки заліза з титаном.

Електролітичне легування заліза фосфором покращує фізикомеханічні властивості опадів, вивчених І.А. Ісіченко [44].

Л.М. Гольц та В.М. Харламов використовували при електролізі суміш сірчаноокислих солей хрому і заліза з відношенням концентрації хрому до залози 1,5:0,1. Додаючи в електроліт сульфат амонію, сульфат натрію, сульфат магнію і розділяючи катодний і анодний простір пористою

										Арк.
										23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ					

діафрагмою, вони отримали при температурі 20-40 ° С і щільності струму 10 - 15 А/дм² сплав, що містить 80% хрому.

В.І. Серебровським [45] та ін. розроблено та запропоновано електроліт наступного складу, кг/м³: хлорид заліза – 350–400, молібдат амонію – 0,2–2, лимонна кислота – 2–8, соляна кислота – 0,5–2. Відповідно до патенту електролітичне осадження відбувається з температурою електроліту 30-40 ° С, катодною щільністю струму 35-40 А/дм², при цьому співвідношення елементів у покритті розподіляється таким чином: залізо 97-99,2%, молібден 0,8-3%.

У роботах Ж.І. Бобанова та І.В. Хорошуна [46] запропоновано наступний склад електроліту, кг/м³: сульфат заліза (II) 250-350, борна кислота 10-15, 2 (оксимато)-біс-(диметилгліоксимато) кобальт (тривалентний) олово (чотирихвалентне)-дипіридинтетра 4. Процес електролізу ведуть при щільності струму 15–20 А/дм² із виходом металу струмом 89–95 %.

Ш.З. Закиров вводив в електроліт залізнення такі неорганічні добавки, як кобальт, нікель, марганець [47].

А.М. Левінзон [48] також проводив дослідження, додаючи в електроліт залізнення кобальт та нікель. В результаті роботи вченого були зроблені висновки про те, що кобальтові покриття можуть бути отримані із сірчаноокислих, хлористих, сульфамінових, фтористих, фторборатних, пірофосфатних та інших електролітів. А.М. Левінзоном для кобальтування запропонований змішаний сульфатно-форміатний електроліт і наступний режим електролізу: сірчаноокислий семиводний кобальт – 300 кг/м³, сірчаноокислий натрій – 70 кг/м³, мурашино-кислий натрій – 40 кг/м³, сірчаноокислий аммо кислота – 65 кг/м³, рН – 2–2,5, температура електроліту до 98 °С, щільність катодного струму до 25 А/дм². У цьому способі

										Арк.
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ					

корозієстійкість, теплостійкість, антифрикційність) порівняно з покриттями з чистих металів. Не менш важливою властивістю гальванічних сплавів є те, що введення в основний метал покриття відповідних добавок інших металів сприяє підвищенню міцності зчеплення покриття з основним металом.

Проведений аналіз показує, що найкращою основою для отримання сплавів, що задовольняють заданим вимогам щодо економічності, зносостійкості та довговічності, є електролітичне залізо.

Як легуючий компонент, як говорилося раніше, представляє інтерес, кобальт [54].

Правильність вибору призначення компонентів для отримання зносостійких гальванічних сплавів пізніше підтвердилася Б.І. Костецьким та Н.В. Коленіченка. За даними їх досліджень, цікаві для нас чисті метали характеризуються лише певними фізико-механічними властивостями [55, 56].

Залізо як основа для отримання сплаву крім високих технологічних переваг процесу має цінні механічні та хімічні властивості: здатність до наклепу (зміцнення) та утворення тонких і твердих окисних плівок. Дійсно, маючи у вихідному стані мікротвердість 1800 МПа, чисте (без окислів) залізо в результаті пластичної деформації при зносі однойменних пар тертя збільшує мікротвердість поверхні до 8900 МПа, а при терті про загартовану сталь 45 - до 11000 МПа, тобто. мікротвердість поверхні зростає 5 – 6 раз. При цьому схоплювання ні в першому, ні в другому не спостерігалось.

Кобальт відноситься до компонентів, що підвищують зносостійкість, які не виявляють схильності до схоплювання, утворюють окисні плівки, що легко руйнують. Чистий кобальт має виключно високу зносостійкість, що у 100 разів перевищує зносостійкість хрому, і має найнижчий коефіцієнт тертя (0,06) [].

Пари, що труться, виконані з металів, що мають гексагональну щільну кристалічну решітку, до яких відноситься кобальт, зношуються незначно,

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

т.к. явища схоплювання при терті зразків цих металів розвитку не отримують, незважаючи на сприятливі умови збільшення швидкості ковзання призводить до зниження інтенсивного зносу цих металів.

На нашу думку, застосування кобальту в сплаві із залізом зміцнюватиме основу сплаву (залізо), підвищуватиме його фізико-механічні властивості, як теплостійкість, зносостійкість і антифрикційність.

1.4. Електролітичне осадження металів на струмі змінної полярності

Холодні електроліти в процесі електроосадження мають ряд недоліків, до яких відносяться низька продуктивність отримання покриття, його зносостійкість та мікротвердість. Але нині вчені вдосконалюють технологію процесу одержання залізних покриттів із холодних електролітів. Дані дослідження ведуться у двох напрямках:

1. Розробка стабільних електролітів, що дозволяють застосування високих густин струму.
2. Використання нестационарних умов електролізу, сприяють високій продуктивності процесу.

Отримання електролітичних покриттів у проточних електролітах на нестационарних режимах електролізу можливе при використанні програмного керування процесом електролізу, ультразвукових коливань та магнітного поля, різних форм періодичного струму.

Не знайшов широкого застосування спосіб залізнення в ультразвуковому та магнітному полі внаслідок складності обладнання, що використовується, і невеликої ефективності процесу.

Для збільшення виходу металу по струму та мікротвердості одержуваних покриттів зазвичай застосовують проточне залізнення. Перевага цього способу полягає у можливості відновлення великогабаритних деталей складної конструкції шляхом локального осадження покриттів на зношені ділянки деталі. Так, наприклад, можна

									Арк.
									28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

відновлювати шийки колінчастих валів застосовуючи анодно-струменевий спосіб, який дозволяє нарощувати покриття безпосередньо на зношені частини деталі, не застосовуючи при цьому спеціальної ізоляції на місця, які не підлягають відновленню [57].

При використанні програмного керування параметрами електролізу можна осаджувати покриття необхідної товщини із заздалегідь вибраними властивостями, але застосування цього способу вимагає створення складних установок, що невиправдане продуктивністю процесу.

Вперше змінний струм в електролітичному процесі був застосований видатним ученим А. Де-Ла-Рівом в 1838, який у своєму спостереженні дійшов висновку про те, що змінний струм надає інший вплив, ніж постійний [58].

Більш перспективним напрямом при отриманні гальванопокриттів є осадження металу з використанням змінного струму. Одним з основних факторів, що визначають продуктивність процесу та властивості покриттів, є крива форми струму та його параметри. Для підвищення продуктивності процесу якості електролітичних покриттів останніми роками використовують різні форми періодичного струму. Періодичний струм є електричним струмом, миттєві значення якого повторюються через рівні проміжки часу. Різні форми та параметри періодичного струму набувають комутації.

постійного струму за допомогою електричних чи механічних пристроїв.

Спосіб електролізу на однофазному періодичному струмі запропонований Р.С. Піявським та А.А. Епштейн. Надалі Р.С. Піявський займався електролітичним осадженням покриттів на асиметричному несинусоїдальний струм. Даний вид струму було отримано ним шляхом включення зустрічно-паралельних вентилів, які поділяли симетричний струм на негативну та позитивну складові. Було встановлено, що цей спосіб підвищує продуктивність залізнення холодних електролітах.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Подальші дослідження щодо застосування періодичних струмів та вдосконалення електролітичного процесу проводились О.М. Батищовим та В.М. Ачкасовим. У працях О.М. Батищева було виведено теоретичні значення виходу металу струму при електролізі на періодичному синусоїдальному струмі.

Роботи Д.М. Ерліха, В.П. Косова, Л.С. Рапопорта, П.П. Белонучкина показали, що періодичний струм із зворотним регульованим імпульсом збільшує продуктивність процесу електролізу від 2 до 2,5 разів у порівнянні із залізненням на постійному струмі [59, 60].

Відомості про застосування в гальваніці періодичних струмів є також у працях А.М. Озерова [61], Г.Т. Бахвалова [62], Л.П. Шульгіна [63], в яких йдеться про те, що застосування даного виду струму при залізненні дозволяє підвищити зчеплення покриттів з основою, особливо при електролізі в холодних електролітах.

Форма періодичного струму із зворотним імпульсом виникає, коли відбувається накладання змінної синусоїдальної складової на синусоїдальний струм однонапівперіодного випрямляча. Під характеристикою такого струму розглядають такі параметри: частоту коливань, період коливань, миттєве значення періодичного струму, амплітудну величину прямого та зворотного струму, тривалість прямого та зворотного імпульсів, час прямування зворотного імпульсу [64].

Аналізуючи наукові роботи В.І. Серебровського, Н.В. Коняєва, Р.І. Сафронова, Ю.П. Гніздилової, можна зробити висновок про те, що ведення процесу електролізу на змінному струмі призводить до підвищення міцності зчеплення електролітичного покриття з основою та мікротвердістю. Таким чином, в даний час для ремонтного виробництва найбільш перспективним є отримання електролітичних покриттів на асиметричному струмі холодних електролітів [22, 58, 65, 66].

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

застосовувати більш високу щільність катодного струму на відміну від стаціонарного режиму постійному струмі.

Анодна частина періоду при електроосадженні на нестаціонарних режимах сприяє поліпшенню властивостей одержуваних покриттів. Для отримання гладких, щільних та блискучих покриттів можна вдаватися до розчинення металевих мікровиступів покриття. Характер застосовуваного струму впливає ступінь блиску одержуваної поверхні.

Струм змінної полярності при підвищених щільності запобігає процесу пасивування анодів при їх розчиненні. Це можна пояснити тим, що під час анодного напівперіоду відбувається часткове розрядження на електроді катіонів металу, що накопичилися у поверхні анода. В результаті цього в прикатодному шарі не утворюється підвищеної концентрації катіонів, що сприяє розчиненню в електроліті продуктів, що утворюються на аноді і тим самим не відбувається пасивації анодів. При періодичній катодної поляризації анодів відбувається відновлення пасивної плівки на металі, виникнення якої пов'язане з анодною поляризацією електрода підвищених щільності струму.

Покриття, що осаджуються на змінному струмі, і покриття, що осаджуються на постійному струмі, відрізняються пористістю, мікроструктурою, механічними властивостями, чистотою поверхні. Електроосаджені на змінному струмі хромові покриття виходять дуже гладкими, і необхідність подальшої механічної обробки деталей просто відсутня.

В результаті осадження на постійному струмі нікелевих, хромових і залізних покриттів виникають внутрішні напруги, що розтягують, які негативно впливають на відновлювані деталі за рахунок зниження їх втомної міцності. Тому відновлення деталей, що працюють при змінних навантаженнях, за допомогою зазначених покриттів неможливе. А ось отримання цих покриттів, але вже на змінному струмі, який впливає на

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зниження внутрішньої напруги, розширює область їх застосування в ремонті.

З усього різноманіття струмів складної форми для ремонтного виробництва найперспективнішим буде асиметричний змінний струм промислової частоти, для отримання якого необхідно мати трансформатор, що знижує, вимірювальні прилади, реостати, напівпровідникові вентиля. Найбільш простою є схема, яка складається з джерела асиметричного струму з двома вентилями, підключеними зустрічно. За цією схемою відбувається поділ струмів протилежних напрямків за допомогою діодів, а реостат можна регулювати амплітуду напівперіодів.

Електроосадження металу на асиметричному струмі проходить зі швидкістю, що дорівнює середньому значенню катодної щільності струму, яка завжди менше щільності прямого струму, але швидкість електроосадження при такому способі вище, ніж при постійному струмі. Це тим, що щільність прямого струму значно перевищує щільність постійного струму.

Коли асиметричний струм протікає через гальванічну ванну, то електрод, який протягом півперіоду осаджується метал, є катодом, а інший – анодом. Під час катодних напівперіодів на зразку осаджується певна кількість металу, яка пропорційна до середнього значення катодного струму за період.

Якщо вимірювач магнітоелектричної системи підключений в ланцюг за схемою отримання асиметричного струму, то через даний вимірювач проходить тільки одна напівхвиля струму протягом періоду, а друга напівхвиля струму проходить паралельною гілки, в яку включений діод, але вже у зворотному напрямку.

Відповідно до робіт [69–72] та досліджень, виконаних нами в лабораторних умовах, можна зробити висновок про те, що використання

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

асиметричного струму дає можливість отримувати залізні покриття з хлоридних електролітів з гарною міцністю зчеплення з основною матрицею.

Проведені експерименти показали, що при отриманні електролітичних покриттів із хлоридних електролітів показник асиметрії має бути в межах $\beta=5-6$. При осадженні цьому показнику швидкість зростання покриття найвища, тоді як товщина, якість і мікротвердість покриття залежатимуть від щільності катодного струму.

Таким чином, на підставі літературних даних та результатів власних досліджень можна стверджувати, що застосування асиметричного струму дає низку істотних переваг перед електроосадження заліза на постійному струмі. На нашу думку, використання даного струму дозволить покращити фізико-механічні властивості електролітичних залізокобальтових покриттів у бік збільшення зносостійкості, а також сприятиме підвищенню продуктивності процесу електролізу.

1.5. Термічна обробка електролітичного сплаву

Термічною обробкою сплавів називається сукупність операцій нагрівання, витримки та подальшого охолодження, в результаті яких змінюється структура металів і вони одержують необхідні фізикомеханічні властивості: мікротвердість, зносостійкість та міцність.

У роботах академіка О.О. Бочвара представлена класифікація видів термічної обробки, яка має універсальний характер і може бути застосована до всіх без винятку процесів обробки сплавів на будь-якій основі [73-75]. Відповідно до цієї класифікації всі види термічної обробки можуть бути розбиті на п'ять груп.

До першої групи належать процеси, пов'язані із зняттям наслідків холодної пластичної деформації шляхом подальшого нагрівання. Вони об'єднуються під загальною назвою відпал першого роду.

										Арк.
										34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Процеси другої групи пов'язані з наявністю фазових перетворень у твердому стані і полягають у нагріванні вище критичних точок з наступним дуже повільним охолодженням для отримання структури, максимально наближеної до рівноважного стану. Процеси другої групи називаються відпалом другого роду, чи фазової перекристалізацією.

Третя група видів термічної обробки пов'язана з різким охолодженням після нагрівання вище критичних точок і називається загартуванням. Що стосується гарту сплавів при швидкому охолодженні виходять нерівноважні структури мартенситного типу, тобто. вона супроводжується фазовим перетворенням.

Четверта група видів термічної обробки пов'язана з нагріванням заздалегідь загартованого сплаву з метою зменшення ступеня нерівноважності. Нагрівання після гарту веде до відпустки.

До п'ятої групи видів термічної обробки відносяться процеси, пов'язані з дифузійним насиченням поверхневого шару деталей різними елементами, так звана хіміко-термічна обробка.

Сплави, отримані електролітичним методом, містять у своєму складі сторонні мікродомішки різного походження, які при термічній обробці у разі, якщо температура середовища перевищує температуру їх стійкості, розпадаються з виділенням газів, що призводить до спотворення кристалічних ґрат та утворення дрібнозернистої структури металу [76–80].

В результаті термічної обробки гальванічних покриттів відбувається рекристалізація та зміна властивостей даного сплаву, а також виникають дифузійні процеси внаслідок термохімічних реакцій між частинками, покриттям та основою. Все це забезпечує високу якість зчеплення та дегазацію покриття.

У більшості літературних джерел йдеться про те, що гальванічне покриття після електролізу є пересиченим твердим розчином. Застосування термічної обробки призводить до того, що виділяється надлишкова фаза, а

									Арк.
									35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

зокрема інтерметалід або фаза впровадження, які призводять до підвищення мікротвердості та зносостійкості гальванічного покриття [81-84].

За наслідками досліджень, отриманих В.І. Серебровським, Н.В. Коняєвим [22, 58], видно, що термообробка електролітичних сплавів при температурах до 300 °С протягом 1 години практично не впливає на мікротвердість, хоча внутрішні напруження значно знижуються.

Для збільшення зносостійкості відновлених поверхонь деталей шляхом підвищення мікротвердості покриття та зниження внутрішньої напруги пропонується спосіб зміцнення електролітичного залізокобальтового покриття термічною обробкою при температурі 400 °С протягом 1 години, яка також допомагає стабілізувати властивості одержуваних покриттів.

Передбачається, що застосування електролітичного

залізокобальтового покриття з подальшою термічною обробкою при температурі 400 °С протягом 1 години дозволить відновити ремонтний фонд та підвищити термін служби валу ротора турбокомпресора фірми Garrett GT2049S для двигуна 2.0 TDI «DuraTorq» автомобіля Ford Transit V.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2. Обґрунтування зміцнення електроосадженого заліза кобальтом

Важливим показником придатності сплаву при електролітичному нарощуванні на зношену поверхню деталі є його зносостійкість. Дана характеристика покриттів є складною і залежною від ряду факторів, основними з яких є концентрація хлориду заліза (200–400) кг/м³, показник асиметрії (2–6), катодна щільність струму (20–60) А/дм², концентрація хлориду кобальту (5–25) кг/м³, кислотність електроліту (0,6–1,0) та температура електроліту (20–60) °С.

Зносостійкість електролітичних залізокобальтових покриттів знаходиться у тісній функціональній залежності між умовами (концентрацією хлориду заліза $C(\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ та кобальту $C\text{CoCl}_2$) та режимами електролізу (щільність струму D_k , коефіцієнт асиметрії β , кислотність рН та температура електроліту t):

$$U=f(C(\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}), \beta, D_k, C\text{CoCl}_2, \text{pH}, t), (2.1)$$

Зносостійкість є багатофакторним процесом

гальванотехніці, і тому постає завдання його оптимізації. З цією метою за певним алгоритмом проводять серію дослідів із невеликою кількістю варіантів. Отримані результати піддають статистичній обробці і у разі потреби будують математичну модель. Аналіз отриманої моделі використовують для подальшого уточнення схеми проведення експерименту [85, 86].

Для отримання оптимальних даних процесу електроосадження металів у гальванотехніці вперше у 1964 році використовували метод планування. В даний період ці методи знайшли широке застосування для вирішення основних завдань гальванотехніки.

Використання методу планування експерименту вирішує низку важливих завдань:

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- 1) проводити багатофакторні експерименти, враховуючи як вплив кожного окремо чинника, а й їх взаємодія на вихідний параметр;
- 2) підкорити дії експериментатора певною схемою розробленого плану експерименту;
- 3) дотримуватися принципу відтворюваності та рандомізації проведення експерименту;
- 4) спростити розрахункові стандартні формули аналізу результатів експерименту шляхом створення універсальних, що піддаються алгоритмізації.

Вибір методу планування експерименту в гальванотехніці визначається насамперед цілями та завданнями дослідження, об'єктом дослідження та наявною апріорною інформацією [87, 88].

Для побудови плану проведення дослідження у гальваніці частіше всього використовують шість факторів (незалежних змінних): $C(FeCl_2 \cdot 4H_2O)$, β , D_k , C_{CoCl_2} , pH , t . При цьому кількість різних варіацій проведення експерименту дорівнює $n=5$. На відміну від загального числа поєднання варіантів, що дорівнює $n^m=5^6=15625$, побудований план міститиме лише $n^2=5^2=25$. Це призводить до скорочення обсягу дослідів у $n^{m-2} = 5^4 = 625$ разів [89].

Дослідження показників досліджуваного процесу, що визначаються кількома факторами, вимагає проведення багатофакторного експерименту з подальшим побудовою математичної моделі. Відповідно до В.М. Мордашеву [89] спочатку з метою зменшення кількості експериментів можна побудувати залежності лише від кожного окремо чинника чи різних їх парних комбінацій, фіксуючи у своїй інші. Отримані результати можна усереднити, а потім уточнити побудовою математичної багатофакторної моделі. З цією метою у цей період широко використовують методи побудови оптимальних планів експерименту. Найбільш поширеними планами проведення експерименту є побудова ортогонального латинського квадрата.

										Арк.
										38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

вихідний параметр, так звані домінуючі фактори. Невключення в модель хоча б одного із суттєвих факторів та їх можливих комбінацій часто призводить до некоректного опису явища або процесу, що протікає в об'єкті. Це може призвести до неправильного тлумачення отриманих результатів та їхнього впровадження у реальну практику.

Для перевірки суттєвості факторів, що включаються до математичну модель, розроблені спеціальні методи, що не вимагають великої кількості експериментів. Це також дозволяє зменшити витрати як на проведення експериментів, так і на обчислювальні процедури.

Серед таких методів слід зазначити:

- методи дисперсійного аналізу, засновані на перевірці частки вкладу досліджуваного фактора дисперсію вихідного параметра;
- методи, що використовують насичені дробові факторні плани та дозволяють на основі побудованої лінійної регресійної моделі судити про значущість факторів щодо частки їхнього вкладу в математичне очікування вихідного параметра;
- методи, які використовують насичені оптимальні експериментальні плани, звані плани Плакетта – Берю. Принцип перевірки суттєвості досліджуваних факторів такий самий, як і при використанні насичених дробових факторних планів;
- використання наднасичених оптимальних планів або метод випадкового балансу, якщо шляхом патентного пошуку встановлюється наявність суттєвості фактора;
- патентний пошук (опитування експертів), що дозволяє ранжувати (розташувати) досліджувані чинники в міру їхнього впливу вихідний параметр.

Наведені методи використовують такі поняття, як число ступенів свободи та ступінь насиченості плану. Число ступенів свободи ϕ – це

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

величина, що дорівнює різниці числа експериментів N та числа невідомих параметрів k математичної моделі:

$$\varphi = N - k, (2.2)$$

По знаку числа φ можна визначати, чи є певний план насиченим або ненасиченим. Якщо при цьому:

- кількість проведених експериментів перевищує кількість оцінюваних властивостей, тобто. $\varphi > 0$, $N > k$, то план є ненасиченим. Це дозволяє перевірити адекватність моделі;
- число експериментів дорівнює кількості шуканих параметрів, тобто. $\varphi = 0$, $N = k$, то план є насиченим. Перевірка адекватності тут неможлива;
- число експериментів менше кількості оцінюваних параметрів, тобто. $\varphi < 0$, $N < k$, то план є наднасиченим.

Для виявлення суттєвих факторів нами використано метод насичених дробових факторів, що ґрунтується на припущенні про наявність лише лінійних ефектів. При цьому про суттєвість факторів судять за їхнім вкладом у математичне очікування вихідної величини [89, 90].

Постулюємо залежність між вихідним параметром та факторами у вигляді лінійної моделі. Використовуючи ППП Excel, знаходимо оцінки коефіцієнтів регресії (моделі, що постулюється), а потім перевіряємо значущість оцінок за формулою:

$$|a_i| \geq t_{kr} S_{i2}, (2.3)$$

де $i = 0, 1, 2 \dots n$;

t_{kr} – критичне значення критерію Стюдента при заданому рівні значущості, наприклад, $\alpha = 0,05$ та числі ступенів свободи $\varphi_2 = (r-1)N$; N

- Число точок плану;

r - Число повторностей отримання результатів експерименту;

S_{i2} – оцінка дисперсії коефіцієнта, що перевіряється.

Якщо ця умова виконується, то коефіцієнт значимий, відповідний фактор суттєвий.

										Арк.
										42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$U=37,37+0,61\cdot\beta +3\cdot 10 D_{\text{K}}+46\cdot 10 C_{\text{CoCl}_2}-6,28\cdot\beta-0,27\cdot D_{\text{K}}-1,63\cdot C_{\text{CoCl}_2}, \quad (2.8)$$

Усі коефіцієнти цієї моделі значимі лише на рівні 90 %, модель адекватна при коефіцієнті детермінації $R^2=91,14$ %. Це означає, кожен із чинників, включених у модель, певному рівні впливає знос електролітичного покриття (Додаток 2).

З аналізу побудованої моделі випливає, що найбільший вплив на зношування покриттів надає концентрація легуючого елемента в електроліті. На думку, збільшення концентрації хлориду кобальту до номінальних значень зменшує знос як мінімум вдвічі. Якщо концентрація хлориду кобальту досягає значень вище оптимальних, то знос покриття збільшується. Це пояснюється зміною структури покриття та збільшенням його крихкості. Підвищення крихкості сприяє впровадженню в контртіло частинок твердого покриття, що відкололися, як наслідок при цьому переважає абразивну дію, що сприяє підвищеному зносу покриттів.

Варіювання показника асиметрії від 3 до 6 дозволяє значно знижувати зношування досліджуваних покриттів, це пояснюється процесом формування дрібнокристалічної структури покриття.

Дослідження багатьох вчених дозволяє встановити, що зміна густини струму від 30 до 60 А/дм² знижує знос досліджуваних гальванопокриттів.

Отримано також раціональний режим електролізу із застосуванням дослідження функції $u=f(x,y,z)$, де $x=\beta$, $y=D_{\text{K}}$, $z=C_{\text{CoCl}_2}$ на локальний екстремум, тобто:

$$(x, y, z) = 37,37-6,28 x-0,27 y-1,63 z +0,61 x^2 +0,003 y^2 +0,046 z^2,$$

Екстремум у разі його існування може досягатися лише у стаціонарній точці. Координати цієї точки визначаємо рішенням системи рівнянь (2.9), що виражає необхідну умову екстремуму функцій трьох змінних:

$$U'_x(x, y, z) = 0$$

$$U'_y(x, y, z) = 0, \quad (2.9)$$

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3. Характеристика технологій, матеріалів, устаткування

3.1. Технологія нанесення покриттів

Електроосадження залізокобальтових покриттів проводилося з електроліту такого складу: хлорид заліза – 200–400 кг/м³, соляна кислота – 0,7–1,8 кг/м³, хлорид кобальту – 5–25 кг/м³ марок «ХЧ» та «ЧДА». Режими нанесення покриття були наступними: катодна щільність струму – 20–60 А/дм², показник асиметрії – 2–6, температура електроліту – 20–60 °С, кислотність – рН 0,6–1,0. Електроліт готували шляхом розчинення сталевих стружки (сталь 10 або сталь 20) у технічній соляній кислоті. Після повного розчинення стружки розчин перемішували і профільтрували в електролітичну ванну. Розчин нагрівали до робочої температури і опрацьовували на катодах, які обертали в склотканину.

густини струму 12–18 А/дм². Інші компоненти розчиняли в окремих ємностях, фільтрували і зливали у ванну. Ванною служили керамічні та скляні судини ємністю 0,5 та 1 л.

Для нанесення Fe–Co покриттів використовували зразки, виготовлені зі Ст10 та Ст20, розміром 25×25 мм.

Повторення експерименту в однакових умовах електроосадження проводилося не менше 4 разів, у кожному експерименті застосовувався свіжоприготовлений електроліт. Коли ми варіювали один із параметрів електролізу, то інші залишалися незмінними.

Кислотність електроліту перевіряли за допомогою Pen Type pH Meter, прилад калібрували стандартними буферними лужними та кислотними розчинами. Для підтримки необхідного рівня електроліту у ванну доливали дистильовану воду з додаванням соляної кислоти.

В результаті проведення експериментів та винесення електроліту з деталями концентрація компонентів у розчині варіювалася, що призводило

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

до зміни умов електролізу та фізико-механічних властивостей покриттів. Зміна концентрації компонентів визначалося методом хімічного аналізу.

Концентрація заліза в електроліті підтримувалася за рахунок розчинення анодів, виготовлених з маловуглецевої сталі, а концентрація хлориду кобальту – за рахунок періодичного введення в електроліт розчину хлориду кобальту.

Маса електролітичного металу визначалася на лабораторних (аналітичних) терезах ВЛА-200М по різниці маси зразка до і після покриття з точністю 0,1 мг.

Лабораторна установка працювала на асиметричному змінному струмі нормованої частоти за розробленою схемою. Ця схема представлена рисунку 3.1 [22].

Покриття наносили на зразки плоскої та циліндричної форми, шорсткість їхньої поверхні відповідала 6–7 класу. Перед нанесенням електролітичного покриття зразки проходили ретельне промивання в ацетоні. Потім було зважування зразків і знежирення віденським вапном. Після цього зразки промивали у воді і піддавали анодному травленню в 30% розчині сірчаної кислоти.

Травлення тривало 1-2 хвилини щільності струму від 30 до 70 А/дм². На завершення зразки промивали холодною проточною водою, завішувалися на підвісі і занурювалися в гальванічну ванну. Параметри електролізу (щільність струму та показник асиметрії) доводилися до необхідних для отримання якісного покриття протягом 4-5 хвилин.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.2. Методика дослідження структури та фізико-механічних властивостей покриття

Дослідження мікроструктури Fe–Co покриттів проводили за допомогою мікроскопа МІМ-8М при 450-кратному збільшенні на поперечних шліфах. Методика виготовлення шліфів для досліджень докладно викладена в роботі [95]. Травлення залізокобальтових покриттів здійснювали 5% розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

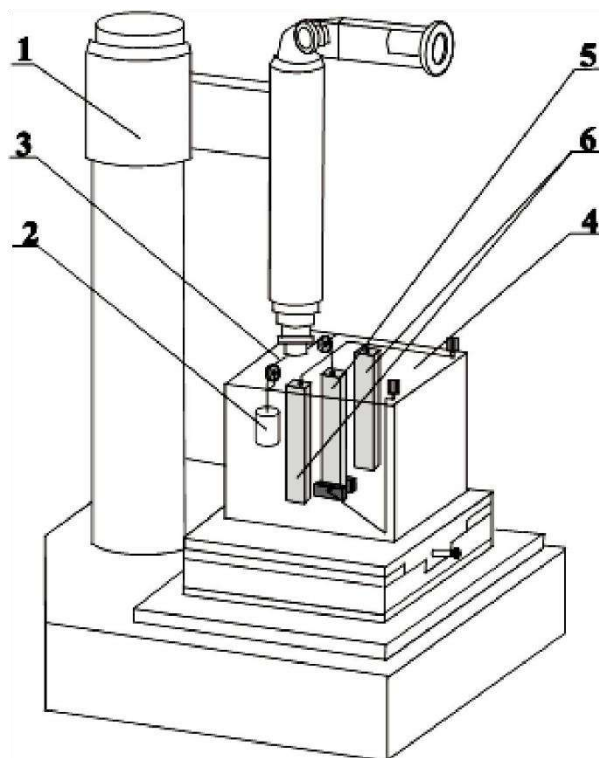
Також нами проводилися рентгеноструктурні дослідження на установці ДРОН-3М, розшифрування отриманих дифрактограм. здійснювалася із застосуванням стандартних методик.

Для визначення фазового складу при обробці рентгенограм були побудовані діаграми за довідковими даними міжплощинних відстаней [95].

Вимірювання внутрішньої напруги в електроосаженому Fe–Co покритті проводилося на експериментальній установці, яка представлена на рисунку 3.2. У процесі електроосадження покриття на стрічковий катод відбувалася його вільна деформація. Катодом служила пластина зі смугової сталі Ст45 товщиною 0,2 мм з розмірами 80×10 мм.

Нижня частина катода за допомогою притискної планки закріплювалася в електролітичному осередку, місце їх закріплення підводився провід від джерела струму. До верхньої частини стрічкового катода прикріплювався мідний дріт діаметром 0,10 мм, який зв'язував стрічковий катод і вантаж – натягувач і укладався на блоки натяжного пристрою. На рухомий стіл приладу ПМТ-3 встановлювалася комірка для електроосадження в такому положенні, щоб в окулярі МОВ-1-15×У4.2 було видно мідний дріт.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



- 1-мікротвердомір ПМТ-3; 2 – попередній вантаж-натягувач;
3 – мідний дріт діаметром 0,10 мм; 4 – електролітичний осередок;
5 – стрічковий катод; 6 – анод

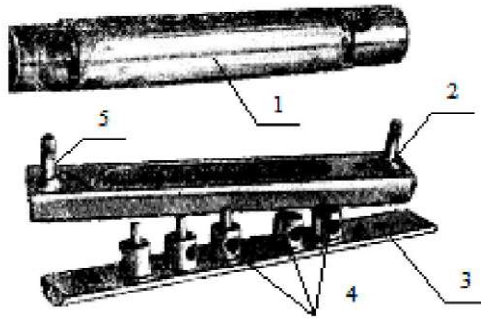
Рисунок 3.2. Установка для вимірювання внутрішніх напруг у покриттях

У процесі електролізу через рівні часові проміжки проводився відлік деформації катода, який визначався з переміщення мідного дроту. Завдяки окуляру МОВ-1-15×У4.2 точність вимірів сягала 0,3 мкм.

Для проведення випробувань на міцність зчеплення

електролітичних покриттів нами було виготовлено спеціальний розбірний блок, де було п'ять отворів для штифтів діаметром 3 мм, з цього можна отримувати товщину електролітичного покриття 0,3 мм.

Загальний вигляд цього блоку представлений рисунку 3.3.



1-блок у зборі після електролізу; 2-корпус блоку; 3-кришка блоку;
4-штифти; 5-гвинт

Рисунок 3.3. Загальний вигляд блоку визначення міцності зчеплення

Штифти встановлювалися в блоці і стопорилися гвинтами, а зовнішню поверхню кришки зашліфовували на круглошліфувальному верстаті до шорсткості $Ra = 2,5-0,63$ мкм. Подальші випробування на відрив проводили на розривній машині РМ-05.

Дослідження зразків на зносостійкість проводили за схемою диск–колодка в умовах тертя без мастила на машині СМЦ-2 згідно з вимогами ГОСТу 30480-97. Схема зразків щодо випробувань представлена рисунку 3.4. [96].

Для випробувань використовували ролики зі сталі 45. Еталонні ролики для порівняння піддавали гартуванню на глибину 1,5 мм та відпустці при температурі 300 °С. Зовнішній діаметр роликів нанесення покриттів – 49,7 мм. Товщина покриттів, що наносяться на ролики, коливалася від 0,2 до 0,5 мм.

Ролики з нанесеним на них Fe-Co покриттям шліфували та полірували. Після механічної обробки зразок відповідав діаметру $50 \pm 0,01$ мм, при цьому шорсткість поверхні була $Ra=0,5-2,0$ мкм. Еталонні ролики виготовлялися аналогічно за винятком операції нанесення покриття.

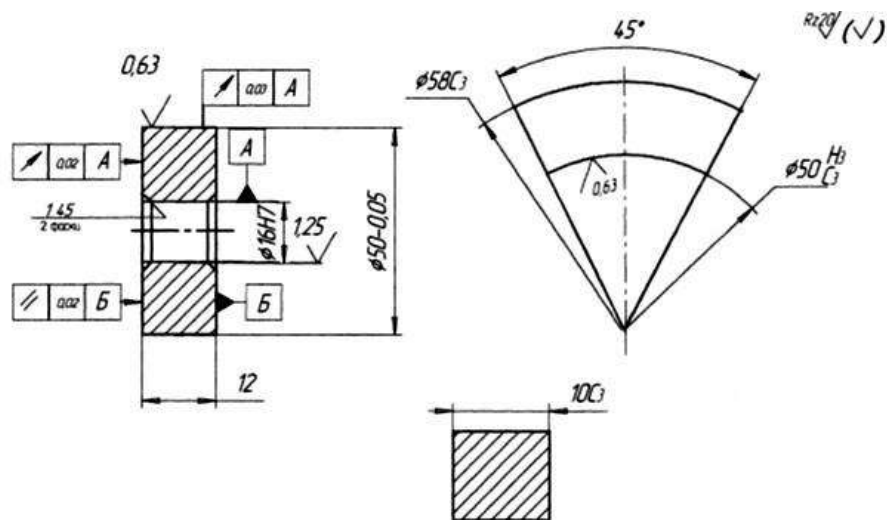


Рисунок 3.4. Схема зразків для випробувань на зносостійкість

Контробразцями у випробуваннях служили колодки, виготовлені із сірого чавуну. Площа контактуючих поверхонь ролика та колодки дорівнює 2 см².

Випробуванню були піддані такі зразки:

1. Ролики із нанесеним чистим електролітичним залізом.
2. Ролики з нанесеним електролітичним сплавом Fe-Co.
3. Ролики з нанесеним електролітичним сплавом Fe-Co та відпалені при температурі 400 °С протягом години.

При випробуванні визначення зносостійкості Fe-Co покриттів швидкість ковзання дорівнювала 0,94 м/сек, навантаження – 0,75 МПа.

Зношування визначалося по різниці маси зразків через кожні 1000 м пробігу при випробуванні без мастильного матеріалу і через кожні 500 м пробігу при випробуваннях при граничному терті. Зважування проводили на лабораторних терезах ВЛА-200М. По різниці маси зразка до та після випробувань визначали знос.

Загальний пройдений шлях під час проведення випробувань на тертя без мастильного матеріалу становив 4000 м. У ході випробувань фіксувалися пробіг зразків, об'ємна температура та робота тертя. Також складалася діаграма зміни моменту тертя.

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

Вимірювання середньої температури колодок проводилися за допомогою хромель-алюмелевої термопари, потенціометра F-307 та дзеркального нуляльгальванометра типу ГМП. Для видалення продуктів зношування на машині тертя була закріплена щітка, яка постійно стосувалася робочої поверхні випробуваного зразка. Момент тертя визначався за шкалою машини СМЦ-

2.

За допомогою інтегратора машини тертя СМЦ-2 та на основі формул, наведених нижче, проводили розрахунки наступних параметрів:

$$A=2Mnu, \quad (3.2)$$

де A -працесили тертя, Нм;

M - Найбільший момент тертя за вимірюваною шкалою, Нм;
 n -число оборотів інтегратора.

Коефіцієнт тертя ковзання знаходили виходячи з формули:

$$f=F/P, \quad (3.3)$$

де f -коефіцієнт тертя ковзання;

F -Сила тертя, Н;

P -Сила нормального тиску, Н.

Силу тертя можна визначити за формулою:

$$F=A/S, \quad (3.4)$$

де A – робота сили тертя, Нм;

S - Пройдений шлях тертя за певну кількість оборотів.

$$S=\pi dN, \quad (3.5)$$

де d – діаметр ролика, м;

N - Число оборотів ролика.

Отримані значення A і S підставляли формулу 3.4 і отримували силу тертя:

$$F=2Mnu/\pi dN, \quad (3.6)$$

Отриманий вираз підставляли у формулу 3.3:

$$f=15,94Mnu/NP, \quad (3.7)$$

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Дослідження поверхні зразків після випробувань проводили з використанням металографічних мікроскопів ПМТ-3, МІМ-8М.

Втомна міцність визначалася методом застосування консольного навантаження до зразка, що рухається, а зчеплюваність - порівнянням межі втоми зразка з Fe-Co покриттям і межі втоми основного металу. Для випробувань застосовувалися зразки діаметром 10 мм. Випробування здійснювалися машиною УКИ-10М.

Межу витривалості зразків можна визначити, виходячи з формули:

$$M/W=32Pl/\pi d^3, \quad (3.8)$$

де M - момент вигину в небезпечному перерізі, Нм;

W- Момент опору перерізу зразків, м; P – навантаження на зразки, Н;

l– відстань між точкою докладання сили та небезпечним перетином, м; d

– діаметр зразка, м.

Випробування проводили при $5 \cdot 10^6$ циклів. Критерієм під час проведення випробувань є повне руйнування випробуваного зразка.

Зразки виготовлялися із нормалізованої сталі 45. Зовнішній діаметр зразків – $10 \pm 0,01$ мм. Діаметр зразків, призначених для нанесення Fe-3 покриттів, - 9,6 мм. Шорсткість поверхні зразків - Ra = 6,3-2,5 мкм.

Мікротвердість електролітичних залізокобальтових покриттів вимірювали з використанням ПМТ-3 приладу конструкції М.М. Хрущова та Є.С. Берковича (рисунок 3.5) згідно з ГОСТом 9450-76.

Щоб унеможливити вплив підкладки на експериментальні дані, мікротвердість вимірювалася на поперечних шліфах в центрі шару покриття, робили при цьому 3 уколи.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



Рисунок 3.5. Загальний вигляд мікротвердоміра ПМТ-3

Корозійну стійкість електролітичних сплавів досліджували в камері тропічного клімату КХТВ-64 за наступних режимів роботи протягом доби: 14 годин – при температурі 55 °С та вологості 96–98 %, у наступні 10 годин – при температурі 25 °С та вологості 96–98 %. На зразки розміром 25×25 мм із сталі 10 наносили покриття товщиною 2 мм. Тривалість випробування становила 77 діб.

Критерієм оцінки корозійної стійкості служив відсоток ураженої корозією поверхні зразка чи кількість корозійних плям у ньому.

Експлуатаційну перевірку працездатності відновлених деталей залізкобальтовим покриттям проводили на автотракторній техніці. Виконання цього виду перевірки стало для нас основною метою для встановлення придатності покриттів для відновлення зношених деталей з подальшою експлуатацією.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

4. Результати експериментальних досліджень покриттів та їх аналіз

4.1. Залежність мікротвердості та вмісту легуючого елемента покритті від умов електроосадження

Основним компонентом для одержання сплаву заліза з легуючою добавкою кобальту є сіль металу $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Концентрація іонів сплаву, що осаджується, надає значний вплив на фізичні та механічні властивості сплаву і насамперед на його структуру. Зниження концентрації сприяє отриманню дрібнозернистої, щільної структури, що дуже важливо для зносостійких покриттів. Проте розведення електроліту який завжди доцільно, т.к. покриття виходять крихкими та не завжди стабільними за структурою, обмежується допустима щільність струму, знижується продуктивність процесу тощо.

Як показали наші попередні дослідження, найбільш прийнятною (номінальною) концентрацією хлориду заліза – основного компонента електроліту є 200–400 кг/м³, а хлориду кобальту – легуючого компонента – 5–25 кг/м³. Введення в електроліт такої кількості солі кобальту істотно впливає на фізичні та механічні властивості покриття. Наявність у сплаві заліза та кобальту надає йому гарного опору зносу, значно зменшує внутрішні напруження, коефіцієнт тертя, підвищує його хімічну та теплову стійкість. Електроліт, що містить солі кобальту, має «згладжуючу дію», тобто. тонко профільтована поверхня може бути вирівняна нанесенням гальванічного сплаву, що містить кобальт. Тому чистота поверхні під покриття сплавом заліза може дорівнювати $R_a=2$ мкм.

Істотний вплив на перебіг процесу та формування покриття надає кислотність електроліту. При недостатній кислотності в прикатодній поверхні осад частково включатимуться гідроокисли, підвищена кислотність знижує вихід сплаву по струму, підвищує агресивність електроліту, тому в нашому випадку кислотність

									Арк.
									57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

Дані за параметрами електролізу та отриманими значеннями представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Залежність вмісту кобальту у залізокобальтовому покритті від параметрів електролізу

№ досвіду	FeCl ₂ ·4H ₂ O, кг/м ³	β	Dк, А/дм ²	CoCl ₂ ·6H ₂ O, кг/м ³	pH	t, °C	З, %	Сорасч, %
1	200	2	20	5	0,6	20	0,01	0,6
2	200	3	30	15	0,9	60	1,5	1,2
3	200	4	40	25	0,7	50	1,7	1,8
4	200	5	50	10	1	40	2	1,8
5	200	6	60	20	0,8	30	2,3	2,4
6	250	2	30	10	0,7	30	0,7	0,66
7	250	3	40	20	1	20	1,65	1,3
8	250	4	50	5	0,8	60	1,4	1,3
9	250	5	60	15	0,6	50	2,28	2,03
10	250	6	20	25	0,9	40	1,9	1,7
11	300	2	40	15	0,8	40	1	0,7
12	300	3	50	25	0,6	30	1,4	1,4
13	300	4	60	10	0,9	20	1,8	1,5
14	300	5	20	20	0,7	60	1,9	1,7
15	300	6	30	5	1	50	1,3	1,3
16	350	2	50	20	0,9	50	0,9	0,7
17	350	3	60	5	0,7	40	1	0,8
18	350	4	20	15	1	30	1,65	1,5
19	350	5	30	25	0,8	20	1,9	1,9
20	350	6	40	10	0,6	60	2	1,7

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					60

основою потрібна зміна даних параметрів у початковий період процесу електролізу. Збільшення концентрації хлориду кобальту підвищує мікротвердість електролітичного покриття [99]. Ці фактори легко коригуються та контролюються у ремонтному виробництві.

Таблиця 4.3. Значення змінних під час планування експерименту

Найменування параметрів електролізу	1	2	3	4	5
катодна щільність струму D_k , А/дм ²	20	30	40	50	60
коефіцієнт асиметрії струму β	2	3	4	5	6
концентрація хлориду кобальту $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, кг/м ³	5	10	15	20	25

<i>Хлорид кобальту</i>	5					10					15					20					25				
	<i>D_k</i>		<i>β</i>			<i>D_k</i>		<i>β</i>			<i>D_k</i>		<i>β</i>			<i>D_k</i>		<i>β</i>			<i>D_k</i>		<i>β</i>		
20																									
30																									
40																									
50																									
60																									

Рисунок 4.2. Комбінований латинський квадрат для трифакторного

Таблиця 4.4. Залежність мікротвердості залізокобальтового покриття від параметрів електролізу

№ досвіду	β	Dк, А/дм ²	CoCl ₂ ·6H ₂ O, кг/м ³	H, МПа	H теор. МПа
1	2	20	5	4250	3876
2	3	30	15	9000	8788
3	4	40	25	8750	8912
4	5	50	10	9650	9583
5	6	60	20	10850	10580
6	2	30	10	6000	5966
7	3	40	20	8950	9009
8	4	50	5	7400	7374
9	5	60	15	11000	11289
10	6	20	25	5100	5901
11	2	40	15	6000	7012
12	3	50	25	8050	8184
13	4	60	10	10000	9905
14	5	20	20	8700	8535
15	6	30	5	5050	4803
16	2	50	20	7600	7013
17	3	60	5	6050	6427
18	4	20	15	10000	9075
19	5	30	25	8450	8150
20	6	40	10	8250	7774

Збільшення вмісту кобальту хлориду в електроліті від 5 до 25 кг/м³ призводить до підвищення ступеня заповнення подвійного електричного

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

На необхідність ретельного очищення поверхні перед осадженням металів та сплавів вказують А.Т. Ваграмян та З.А. Соловйова, В.І. Лайнер та Н.Т. Кудрявцев, Д.В. Плетньов та В.М. Брусенцова [01].

Деякі автори вважають, що для підвищення якості одержуваних гальванопокриттів, у тому числі поліпшення зчеплюваності, перед завантаженням деталі у ванну необхідно піддати поверхню катода пасивації, а після занурення електроліт ванни короткочасно витримати її без струму для руйнування пасивної плівки [02-108].

На думку М.П. Дрібно спочатку необхідно витримати деталь в електроліті без струму, а потім слід підвищувати щільність струму для відновлення до металевого стану адсорбційних пасивних шарів. Підвищення щільності струму початковий період електролізу збільшує вихід водню по струму, який у момент виділення активує поверхню металу.

Межатомні взаємодії мають місце в тих випадках, коли кристалічні грати основного металу продовжені структурою покриття, в цьому випадку міцність зчеплення найбільш висока.

Велику роль отримання якісних покриттів грає відмінність коефіцієнтів лінійного розширення. Коли різниця цих коефіцієнтів велика, одержуване покриття розтріскується і відшаровується при невеликих навантаженнях коливальних.

Отримання міцності зчеплення покриття та однорідної за структурою поверхні можливе при виконанні наступних вимог:

1. За структурою метал має бути однорідний, без тріщин, пір та сторонніх включень.
2. Режими механічної обробки необхідно підбирати такі, щоб структура металу піддавалася якомога меншим внутрішнім напругам і поверхневому наклепу.
3. Поверхня, що підлягає гальванічному покриттю, повинна мати оптимальну шорсткість та бути рівномірно оброблена.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

З цих вимог випливає, що для гальванічних покриттів сплавами заліза найбільше підходять маловуглецеві, нелеговані та термічно не оброблені сталі.

Перед нами стояло завдання вивчити зчеплення з основою електролітичного залізокобальтового покриття, отриманого на струмі змінної полярності при різних режимах електролізу.

Для отримання математичної моделі міцності зчеплення електроосадженого сплаву Fe–Co з основним металом нами застосовувалася раніше вказана методика трифакторного латинського квадрата. Фактори та результати експериментів представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5. Залежність міцності зчеплення електролітичного залізокобальтового сплаву з основою від параметрів електролізу

№ досвіду	β	Дк, А/дм ²	CoCl ₂ ·6H ₂ O, кг/м ³	$\sigma_{сц}$, МПа
1	2	20	5	350
2	3	30	15	97
3	4	40	25	82
4	5	50	10	125
5	6	60	20	78
6	2	30	10	175
7	3	40	20	72
8	4	50	5	130
9	5	60	15	110
10	6	20	25	64
11	2	40	15	120
12	3	50	25	99
13	4	60	10	115

14	5	20	20	75
15	6	30	5	118
16	2	50	20	88
17	3	60	5	227
18	4	20	15	97
19	5	30	25	69
20	6	40	10	123

Здійснивши вибірку значень міцності зчеплення

електроосаджених залізокобальтових покриттів з основним металом, виміряних при однакових значеннях, і отримавши ряд середньоарифметичних значень, що побудували графіки (рисунок 4.9).

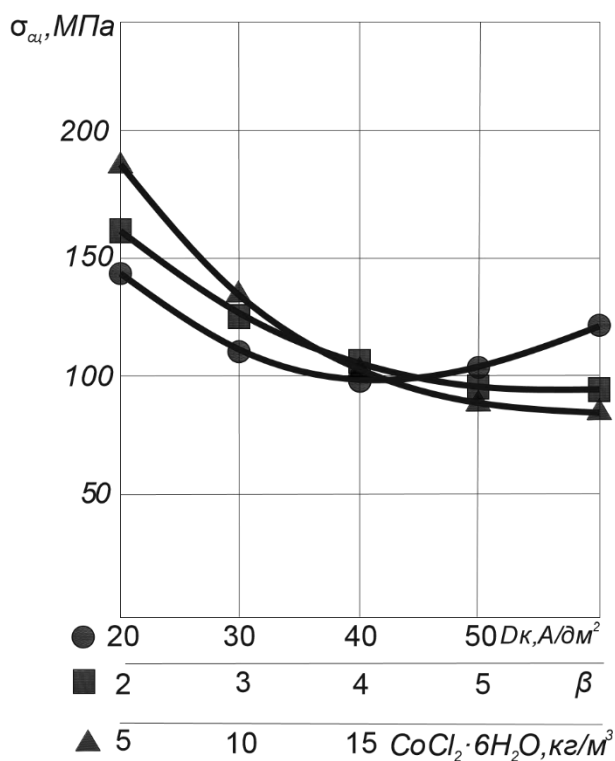


Рисунок 4.9. Залежність міцності зчеплення електролітичного залізокобальтового сплаву з основою від параметрів електролізу.

$$\sigma_{\text{сц}} = 588,9 - 72,9 \cdot \beta - 32,6 \cdot \text{CCoCl}_2 + 1,9 \beta^2 + 0,3 \cdot \text{CCoCl}_2^2 + 3,04 \cdot \beta \cdot \text{CCoCl}_2 + 0,16 \cdot \text{Dк} \cdot \text{CCoCl}_2 - 2,11 \cdot \text{Dк}, (4.10)$$

де $\sigma_{\text{сц}}$ - зчеплюваність Fe-Co сплаву з основою, МПа;

З графіків видно залежність зчеплюваності Fe-Co сплаву з основою від параметрів електролізу. Мінімальне значення має міцність зчеплення при підвищених показниках електролізу. Поступове виведення електролізу на технологічний режим підвищує порочність зчеплення. При електролітичному нарощуванні Fe-Co покриттів на змінному струмі можна застосувати три варіанти розгону. Перший варіант полягає у виборі оптимального коефіцієнта асиметрії та малої щільності струму. Другий варіант зводиться до вибору оптимальної щільності струму та низького коефіцієнта асиметрії, а потім поступового виведення режиму електролізу на задані значення. Третій варіант режиму електролізу полягає у виборі низьких режимів електролізу, а потім у поступовому їх збільшенні до заданого значення.

Перший варіант не можна застосовувати при електроосадженні легованого заліза, т.к. за таких параметрів електролізу покриття виходять тверді, але з низькою міцністю зчеплення. При другому варіанті з'являється можливість швидкого виведення процесу електролізу на робочий режим, але оптимальна щільність струму 40 А/дм² не дозволяє підвищити міцність зчеплення. А у разі застосування третього варіанта забезпечується максимальна зчеплюваність електролітичного покриття Fe-Co з основою, т.к. відбувається створення сприятливих умов відновлення структури основного металу.

Напруги відриву знижуються зі збільшенням концентрації в електроліті хлориду кобальту, т.к. підвищуються внутрішні напруги та відбувається спотворення кристалічних ґрат заліза.

Наші дослідження показали, що електролітичний Fe-Co сплав, нанесений на деталі, не відшаровувався під впливом різноманітних впливів:

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

при численному ударі молотком, при механічній обробці, випробуваннях на зносостійкість, експлуатаційних випробуваннях відновлених деталей [09].

4.3. Дослідження зносостійкості електроосадженого залізокобальтового сплаву

Зносостійкість є найважливішою характеристикою сплавів, вона залежить від низки властивостей електролітичних покриттів, в яких відбувається процес зношування.

Початковий правильний вплив на напрямок наукових досліджень з тертя та зносу надали роботи академіків

В.Д. Кузнєцова, Б.В. Дерягіна, П.А. Ребіндера, Б.І. Костецького, В.А. Кислика, М.М. Хруцова, І.В. Крагельського [10-112]. Значний внесок у сучасну науку про тертя та знос внесли Д.М. Гаркунов, Н.Г. Дюргеров, А.В. Коротков, В.Д. Зозуля, Г.М. Суранов, В.Ф. Пігугін [13-116].

Основним завданням експериментального дослідження є встановлення відносної зносостійкості покриття, що є основним показником працездатності відновленої деталі.

До властивостей покриттів, які впливають на зношування, відносяться утворення окисних плівок, структура, напруженість, мікротвердість, хімічний склад [17].

У роботах [18–121] йдеться про те, що властивості електролітичних сплавів визначаються їх складом та внутрішньою будовою, структурними недосконаlostями та тонкою структурою. Визначальними характеристиками є хімічний склад та структура, що впливають на механічні, магнітні, міцнісні, хімічні, фізичні властивості покриттів. Однак ці характеристики не можуть бути постійними в процесі зношування, вони знаходяться в прямій залежності від умов зношування (середовище, навантаження, швидкість).

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Нами було проведено низку експериментів щодо вивчення впливу хлориду кобальту, а також режимів електролізу на зносостійкість Fe–С покриття. Осаду здійснювали з електроліту наступного складу: хлорид заліза – 300 кг/м³, температура електроліту – 40 °С, рН=1. В електроліт додавали різну кількість хлориду кобальту та електроліз вели при різних значеннях D_k та β .

В результаті проведених експериментів було встановлено, що найбільший вплив на величину зносу покриття надавала концентрація хлориду кобальту в електроліті. Оптимальне значення концентрації хлориду кобальту призводить до зменшення зносу електролітичного сплаву Fe-Со майже вдвічі. Однак збільшення концентрації хлориду кобальту вище від номінальних значень підвищує знос покриття. Як вважаємо, так впливає легуючий елемент, т.к. відбувається зміна структури та збільшення крихкості. Підвищеному зносу покриттів сприяє впровадження в контртіло частинок твердого покриття, що відхилилися [22–124].

В результаті проведених експериментів, а також обробки даних нами було отримано раціональні значення показників електролізу:

- показник асиметрії $\beta=5,148$;
- катодна щільність струму $D_k=45$ А/дм²;
- концентрація хлориду кобальту в електроліті $C_{CoCl_2}=17,7$ кг/м³.

4.4. Структурна неоднорідність електролітичного сплаву Fe-Со

Нами було вивчено зміни поверхні сплаву Fe–Со залежно від рівня легування. Для утворення крупнозернистої структури покриття отримували при м'яких режимах електролізу.

На рисунку 4.11 наведено мікрофотографію поверхонь електроосаджених сплавів, отриманих при різних режимах електролізу. Аналіз рисунків дозволяє встановити, що підвищення вмісту кобальту в покритті призводить до збільшення розміру кристалів, що можна виявити зміни поверхні окремих кристалів. Також було встановлено, що

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

При дослідженні структури електролітичних сплавів були виявлені такі особливості: шари осажденного металу, прилеглі до основи, мають високу дисперсність, дефектність, значну внутрішні напруги. Однак зростання осаду призводить до поступового збільшення зерен його складу, що призводить до щільності дефектів кристалічних ґрат, а внаслідок і до зниження внутрішніх напруг.

Збільшення поляризації катода посилює фрагментацію зерен, кут розорієнтування між субзерна зростає, а також збільшується щільність дислокацій. Підвищення ступеня легування таке впливає на тонку структуру сплавів [39–143].

Величина кута розорієнтування впливає межі субзерен, які можуть бути наступних типів:

- похилі сітки (складаються з паралельних дислокацій);
- сітки кручення (утворені гвинтовими дислокаціями);
- неправильні сітки (складаються із щільних сплетень дислокацій).

Безпосередньо у субзернах ізольовані дислокації спостерігаються рідко (щільність усередині субзерен на 5–6 порядків нижче, ніж у межах).

Необхідно зауважити, що ступінь легування при

Електрокристалізація сплавів на основі заліза не є основним фактором зміни структури опадів. Куди більший вплив надають режими електролізу. Дослідження показують, що щільність дислокацій у сплавах практично на порядок вища, ніж в осадах металу-розчинника, отриманих за тих же умов електролізу. Так, у сплаві Fe-2%Co щільність дислокацій дорівнювала $3 \cdot 10^{-12}$ см⁻², тоді як у чистому залозі – $4 \cdot 10^{-12}$ см⁻² [39].

Дослідження покриття дозволяють припустити, що зерна зароджуються на запасивованих ділянках підкладки та ростуть незалежно один від одного. Дане припущення будується на тому, що межі зерен у покриттях мають недислокаційну будову та є висококутовими.

									Арк.
									74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

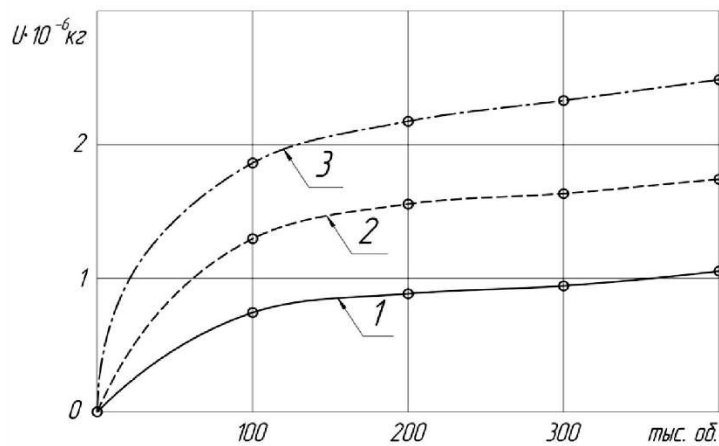
4.5. Порівняльна зносостійкість Fe–Co покриттів

Найбільшу кількість автотракторних деталей виготовляють із сталі 45 з подальшою термічною обробкою, у зв'язку з цим для порівняльних випробувань на зносостійкість нами була обрана сталь 45. Дослідження проводилися в парах тертя з чавуном СЧ20.

Проведені випробування показали, що краща прироблюваність і найменший знос був у сплаву Fe–Co+термообробка, сплав Fe–Co, потім сталь 45, загартована за допомогою нагрівання ТВЧ з подальшою низькотемпературною відпусткою, та електролітичне залізо (рисунок 4.15). При випробуванні в парі з бронзою знос покриттів був вищим, ніж у парі з чавуном.

Отримані експериментальні дані показують, що доцільно легувати електролітичне залізо кобальтом з подальшою термічною обробкою. Це з тим, що з граничному терті підвищується інтенсивність освіти окисних плівок, за високої швидкості їх руйнації. Таким чином, найбільше зношування електролітичного заліза відбувається при найменших значеннях температури і коефіцієнта тертя.

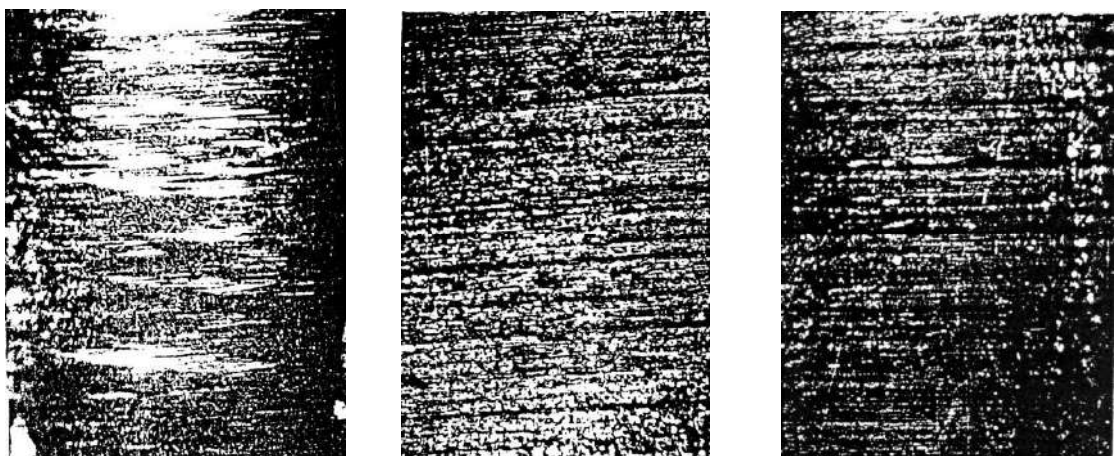
					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77



1 – Fe–Co т.ч.; 2 - Fe-Co; 3 – загартовані

Рисунок 4.13. Результати випробування зразків при граничному терті
 В результаті проведених випробувань при граничному терті найменший знос був у пари тертя з Fe–Co т.ч. зразками.

Розглядаючи представлені мікрофотографії поверхонь тертя досліджуваних зразків (рисунок 4.18) різної твердості, можна зробити висновок про те, що зі збільшенням мікротвердості електролітичних сплавів знос їх поверхні проходить через різні стадії: знос захопленням (м'які покриття), окисний знос (покриття до 9200 МПа) абразивне зношування (покриття твердістю вище 9200 МПа). Основною причиною збільшення зносу твердих шарів електролітичних сплавів є висока крихкість з тріщинуватою структурою.



а Б В)

а) електролітичне залізо; б) електролітичний метал Fe–Co; в) електролітичний сплав Fe–Co+термообробка

Рисунок 4.14. Поверхні зносу електролітичних покриттів

									Арк.
									80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

У матриці чистого електролітичного заліза рівномірно розподілені дисперсні тверді частинки сплаву Fe-Co, і з цієї причини сплав вийшов міцніше чистої матриці. Для даного сплаву характерний підвищений опір зносу. Можна припустити, що тверді частинки сплаву Fe-Co, мають більш високі фізико-механічні властивості, виступають при зносі з матриці і піддаються найбільш високому навантаженню. Ці частинки запобігають захоплюванню поверхонь при терті, а також сприяють кращому розподілу мастила по поверхні деталей, що труться в умовах граничного шару. Це сприяє зниженню тертя, а отже, і підвищенню зносостійкості.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

5. Технології відновлення та експлуатаційні випробування деталей

з покриттями

5.1. Лабораторні випробування працездатності валу ротора турбокомпресора, відновленого залізокобальтовим покриттям

Лабораторні випробування проводилися на універсальному безмоторному стенді, що моделює зношування високошвидкісного підшипникового вузла будь-якої моделі ТКР за методикою абразивного зношування. Стенд є безмоторною установкою для випробування різних режимів роботи турбокомпресора, відповідних режимам його роботи на двигуні, і для визначення параметрів турбокомпресора на цих режимах відповідно до технічних умов.

Стенд складається з наступних систем: газоповітряної системи, системи мастила, паливної системи, а також пульта керування зі стійкою приладів для вимірювання параметрів.

Компресор приводиться у обертання турбіною, робочим тілом йому служить газ із температурою 200–800 °З. Як робоче тіло турбокомпресора може бути стиснене повітря з температурою 50–70 °С.

Для моделювання прискореного зношування ТКР систему змащення вводили абразивний порошок. Випробування проводили з порошками наступного фракційного складу 0,1-0,4 мм, маса порції порошку, що засипається, становила 0,25 г один раз на 1 год.

Послідовність проведення лабораторних випробувань на стенді:

1. Виконувалося прокачування масла через систему мастила ТКР під тиском 3 атм.
2. Здійснювалася обкатка турбокомпресора повітрям на середніх оборотах (20000 об/хв) протягом 15 хвилин.
3. Виконувалося обкатування турбокомпресора за рахунок енергії вихлопних газів на середніх оборотах (60000 об/хв) протягом 2 годин (при необхідності і частіше).

										Арк.
										82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ					

4. Проводилося вимірювання осьового та радіального зазорів валу ротора ТКР.
5. Перевірялися динамічні газомасляні ущільнення.
6. Досліджувалися та аналізувалися показання віброприскорення.
7. Проводилось охолодження турбокомпресора повітрям (без енергії вихлопних газів).

За результатами лабораторних випробувань встановлено, що тривалість роботи ТКР з відновленим валом ротора у 1,6 рази збільшилася порівняно з валом ротора ТКР номінального розміру. Так, при введенні абразивного матеріалу, що містить фракцію розміром 0,1-0,4 мм, час роботи ТКР з відновленим валом ротора становив 12,8 години, а час роботи ТКР з валом ротора без зносу номінального розміру - 8,1 години.

5.2. Експлуатаційна перевірка працездатності валу ротора турбокомпресора, відновленого залізокобальтовим покриттям

Експлуатаційні випробування відновленого валу ротора турбокомпресора фірми Garrett моделі GT2049S для двигуна 2.0 TDI DuraTorq автомобіля Ford Transit V проходили в умовах ЗАТ «Краснополянська сільгосптехніка». Щоб отримати порівняльні результати на один випробуваний автомобіль з пробігом 126 534 км встановили новий вал ротора турбокомпресора, а на інший автомобіль з пробігом 236 302 км - відновлений вал.

Відновлення та зміцнення валу ротора турбокомпресора проводилося за вказаною технологією. В умовах промислового виробництва проходило електrolітичне нарощування покриття у ванні та зміцнення термічною обробкою у муфельній печі.

Наносилося покриття завтовшки 0,4 мм, щоб після механічної обробки можна було одержати номінальні розміри валу ротора турбокомпресора. На початку процесу відновлення деталь шліфувалася на верстаті до видалення

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Як видно з результатів експлуатаційних випробувань, знос відновленого валу ротора значно нижчий від нового, що продовжує безперебійний термін служби автомобілів.

Експлуатаційні випробування довели можливість використання електроосаджених залізокобальтових покриттів у ремонтному виробництві стосовно, зокрема, відновлення вала ротора турбокомпресора.

5.3. Виробничі рекомендації для відновлення деталей електролітичними залізокобальтовими покриттями

Завдяки високій твердості, зносостійкості та теплостійкості покриття Fe–Co (особливо при використанні термічної обробки сплаву) можуть бути використані для відновлення автотракторних деталей.

Проведені нами дослідження (визначено оптимальний склад електроліту та режими електролізу, вивчено структуру, твердість, внутрішню напругу, міцність зчеплення з основним металом та зносостійкість) дозволили розробити технологічний процес відновлення зношених автотракторних деталей електролітичними залізокобальтовими покриттями.

Технологічний процес передбачає послідовність операцій, які забезпечують осадження на зношену поверхню деталі добре зчепленого з нею шару покриття необхідної твердості та товщини. Операції повинні виконуватись у наступній послідовності:

1. Первинне очищення від забруднень. Усі деталі проходять очищення від бруду промиванням в ацетоні чи бензині. Необхідно проводити очищення внутрішніх поверхонь деталі, що відновлюється: не видалені з поверхонь деталей масляні та інші забруднення при нанесенні покриття реагують з електролітом і можуть викликати відшаровування нарощеного шару.
2. Механічна обробка поверхонь, що підлягають відновленню. Даний вид обробки потрібен для усунення з відновлюваної поверхні слідів зношування,

									Арк.
									85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРТАМ 22.17059.000. ПЗ				

11. Промивання підвіски з деталями у холодній проточній воді. Після процесу електролізу деталі промиваються у холодній воді.
12. Нейтралізація у розчині їдкого натру протягом 5 хвилин. Дану технологічну операцію необхідно проводити з метою видалення слідів електролітів та запобігання корозії покриттів.
13. Демонтаж деталей із підвіски.
14. Сушіння деталей. Після демонтажу деталі сушать стисненим повітрям або в сушильній шафі при температурі 50–100 °С протягом 5–10 хвилин.
15. Термічна обробка при температурі 400 °С протягом 1 години для підвищення твердості, зносостійкості та зчеплюваності.
16. Механічна обробка. Покриття, що вийшло, піддаються шліфуванню або хонінгуванню.
17. Контроль якості покриття. Якість покриття визначається візуально, зовнішнім оглядом. Покриття має бути рівним, гладким, без дендритів, здуття та лущення.

Нарощування покриттів Fe–C ведеться з розчинними анодами з маловуглецевої сталі, які поміщають у чохли зі склотканини. Для того щоб забезпечити стабільність електроліту, а також поліпшити розподіл металу по поверхні деталі, що відновлюється, необхідно витримувати співвідношення площ анодів і катодів 2:1. Аноди не повинні перевищувати по довжині деталі, що покриваються, і повинні бути завішані у ванну симетрично по відношенню до кожної деталі і на одному рівні з ними.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

ВИСНОВКИ

1. Розроблено спосіб електролітичного осадження зносостійких покриттів із хлоридних електролітів із застосуванням періодичного струму.
2. Виявлено можливість зміни структури покриття, що осаджується, від параметрів електролізу. Усі досліджувані покриття мають шарувату структуру. Зі збільшенням вмісту кобальту понад 2,5 % зростає шаруватість при одночасному погіршенні якості покриттів.
3. Вивчено теплостійкість залізокобальтових покриттів. Встановлено, що при нагріванні до температури 400 °С зникає шарування, мікротвердість збільшується до 12000 МПа, а зношування зменшується в 2 рази.
4. Рентгеноструктурні дослідження дозволили виявити, що електролітичний залізокобальтовий сплав у вихідному стані є сильно пересиченим твердим розчином кобальту в залозі. Термообробка сплаву при 400 С протягом 1 години призводить до утворення нової фази.
5. Експлуатаційні випробування, проведені для валу ротора турбокомпресора фірми Garrett модель GT2049S для двигуна 2.0 TDI DuraTorq автомобіля Ford Transit V, показали, що відновлений вал має ресурс в 1,67 рази більше, ніж новий.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Список посилань

1. Підвищення довговічності пар машин, що труться, і механізмів багатокомпонентними електроосадженими сплавами заліза [Текст]: дис. докт. техн. наук/Саварець, А.І. - : ДЕРЖСНІТИ, 1997. - 320 с.
2. Баженов, С.П. Основи експлуатації та ремонту автомобілів та тракторів [Текст] / С.П. Баженов, Б. Казьмін, С.В. Носов // М: Видавничий центр «Академія». – 2011. – 336 с.
3. Власов, В. Маршрутна технологія ремонту деталей автомобіля [Текст]/В. Власов, С.В. Жанказієв, С.Круглов // М: Видавничий центр «Академія». – 2003. – 480 с.
4. Кузнецов, Є.С. Технічна експлуатація автомобілів [Текст] /О.С. Кузнецов,
5. Зуєв, А.А. Відновлення шийок валів [Текст]/А.А. Зуєв // Сільський механізатор. – 2015. – №5. – С. 14-15.
6. Зуєв, А.А. Технологія відновлення шийок колінчастих валів [Текст]/А.А. Зуєв, А.В. Арсентьєв, А.А. Федорищев // Двигунобудування. – 2006.- №3.- С. 40-42.
7. Ожегов, Н. Забезпечення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням екологічних вимог [Текст]/В.А. Руж'єв, Н. Ожегов, Д.А. Капошко // Вісті Санкт-Петербурзького державного аграрного університету. – 2015.- №38.- С. 254-259.
8. Ожегов, Н. Підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення наплавних технологій [Текст]/Н. Ожегов, В.А. Руж'єв, Д.А. Капошко та ін. // 2015.- т.121.- С. 273-281.
9. Curson, GA Important recent developments in metal spraying /GA Curson // Corrosion Prevention. – 1960. – vol.7. – P. 56-58.
10. Brams, H. Hard chrome plating for wear resistance and salvage /H. Brams // Iron Age. – 1975. – vol.151. – P. 89-93.

					МРТАМ 22.17059.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

