

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2023 р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр
(освітній рівень)

тема роботи: **«Підвищення зносостійкості деталей машин шляхом розробки
технології нанесення покриттів вторинною сировиною»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
ШКОЛЬНИЙ Іван Володимирович
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Петриченко Є. А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ А.В. Войтік
“ ____ ” _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

студенту _____ **Школьному Івану Володимировичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення зносостійкості деталей машин шляхом розробки технології нанесення покриттів вторинною сировиною»

керівник роботи к.т.н., доцент Петриченко Є.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“14” листопада 2023 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 25.11.2023 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: технологія нанесення зносостійких антифрикційних покриттів на робочі пари; результати лабораторних випробувань потрійних сплавів Pb-Sn-Sb літературні джерела;

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- обґрунтувати способи нанесення антифрикційних матеріалів;
- розглянути хімічний склад антифрикційних покриттів та дослідити їх поведінку в умовах експлуатації та граничного навантаження;
- провести аналіз впливу якості покритого антифрикційного матеріалу на фізико-механічні властивості деталей;
- дати техніко-економічну оцінку запропонованих рекомендацій.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; методики проведення випробувань; технологія нанесення зносостійких антифрикційних покриттів на робочі пари; техніко-економічна оцінка запропонованих рекомендацій

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Петриченко Є.А., доцент		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.04.2023 р.	
2.	Розділ 1.	14.05.2023 р.	
3.	Розділ 2.	28.05.2023 р.	
4.	Розділ 3.	11.06.2023 р.	
5.	Розділ 4.	25.06.2023 р.	
6.	Розділ 5.	24.09.2023 р.	
7.	Виконання ілюстративної частини роботи	23.10.2023 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	25.11.2023 р.	

Студент

(підпис)

Школьний І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Петриченко Є. А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розроблена дипломна робота містить 68 аркушів пояснювальної записки та 10 слайдів презентаційної частини. Пояснювальна записка складається з 5 розділів, при підготовці роботи було опрацьовано 18 літературних джерел.

В першому розділі розглянута технологія нанесення зносостійких антифрикційних покриттів на робочі пари (плунжер – гільза, підп'ятник – похила шайба) та плазмово-дугове наплавлення порошковими і дротяними матеріалами (ПДН). Обґрунтована тема магістерської роботи.

В другому розділі розглянуті способи напилення та покращення антифрикційних поверхонь деталей.

В розділі три обґрунтований і розроблений технологічний процес гальванічного напилення антифрикційних покриттів.

В організаційній частині третього розділу представлено дослідження та випробування покриттів нанесених запропонованим типом напилення.

Заключні розділи дипломної роботи присвячені аналізу стану питань з охорони праці під час виконання гальванічного напилення деталей та обґрунтування техніко-економічних показників використання модернізованих підп'ятників.

Ключові слова: АНТИФРИКЦІЙНИЙ, ТЕРТЯ, ГАЛЬВАНІКА, ТРИБОТЕХНІКА.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ І ВИБІР ЗНОСОСТІЙКИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ	8
1.1 Технологія нанесення зносостійких антифрикційних покриттів на робочі пари (плунжер – гільза, підп'ятник – похила шайба)	8
1.2 Газотермічне напилення порошкових покриттів (ПН)	11
1.3 Плазмово-дугове наплавлення порошковими і дротяними матеріалами (ПДН)	13
1.4 Гальванічне напилення	15
2 АНТИФРИКЦІЙНІ ГАЛЬВАНІЧНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ СВИНЦЮ: СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ	16
2.1 Гальванічний метод нанесення сплавів на основі свинцю	16
2.2 Триботехнічні властивості сплавів на основі свинцю та їх структура	20
2.3 Огляд попередніх результатів лабораторних випробувань потрійних сплавів Pb-Sn-Sb	23
3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	34
3.1 Методики проведення випробувань	34
3.2 Вплив процесів тертя на структуру гальванічних покриттів Pb-Sn-Sb	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	52
4.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці	59
4.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання	61
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОКРИТТЯ Pb-Sn-Sb В ПАРІ ТЕРТЯ «ПІДП'ЯТНИК – ПОХИЛА ШАЙБА» АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА	64
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Основними причинами виходу з ладу деталей машин та металоконструкцій є процеси зношування і корозія. В результаті звичного зношування виходить з ладу до 79 % деталей і їх з'єднань. Явище корозії також значні. Щорічні втрати металу від зношування та природнього старіння у високорозвинених країнах складають до 7-8 % валового національного доходу. Саме тому зниження таких втрат та пошук шляхів їх усунення актуальний. Сьогодні ведуться дослідження по багатьом напрямкам. Одне з них - розробка нових технологій нанесення антифрикційних покриттів на деталі, що працюють в умовах тертя (підшипники, втулки, направляючі вкладиші тощо). Такі покриття повинні володіти хорошою працездатністю, зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя і малим зносом матеріалу що контактує [1].

Такі метали як олово, свинець або включення частинок компонентів, що мають мастильні властивості (вуглець, сульфід вольфраму, сульфід молібдену), сприяють утворенню антифрикційних властивостей в умовах тертя.

Використання методів гальванічного нанесення дає нам ряд переваг: покриття поверхонь складної форми, використання низьких температур, формування по всій площині поверхні рівномірно тонких шарів антифрикційного матеріалу, що дозволяє уникнути подальшої механічної обробки.

Високими антифрикційними характеристиками володіє свинець. Висока корозійна стійкість свинцю в різних середовищах в поєднанні з низьким коефіцієнтом тертя дозволяє використовувати його плівки для нанесення на спеціальні підшипники кочення і ковзання. Легування свинцю іншими металами надає його поверхні нові властивості.

У промисловості поширені сплави свинцю з оловом. Сплави, що містять до 5 - 25% олова, застосовуються як антифрикційні. Відомим потрібним сплавом на свинцовооловянистій основі є сплав з сурмою, що забезпечує хорошу працездатність, велику зносостійкість і стійкість до ерозії.

Мета роботи: розглянути та дослідити сучасні способи нанесення

антифрикційних матеріалів на тертьові поверхні деталей.

Завдання дослідження:

Обґрунтувати способи нанесення антифрикційних матеріалів.

Розглянути хімічний склад антифрикційних покриттів та дослідити їх поведінку в умовах експлуатації та граничного навантаження.

Провести аналіз впливу якості покритого антифрикційного матеріалу на фізико-механічні властивості деталей.

Дати техніко-економічну оцінку запропонованих рекомендацій.

Об'єкт дослідження: процеси механічного та абразивного зношування деталей, тертьових поверхонь, в умовах недостатнього або відсутнього мащення.

Предмет дослідження: способи нанесення та хімічний склад антифрикційних матеріалів.

1 АНАЛІЗ І ВИБІР ЗНОСОСТІЙКИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

1.1 Технологія нанесення зносостійких антифрикційних покриттів на робочі пари (плунжер – гільза, підп'ятник – похила шайба)

Робоча пара плунжер – гільза працюють для подачі дизельного палива у насосі високого тиску. Дана робоча пара не змащується мастилом і не має спеціально розроблених мастильних каналів, а лише паливом яке нагнітається до форсунок. Це зумовлене тим, що в робочій парі допустимий зазор до 0,1 мкм. Великий ризик зношування даної робочої пари підчас пуску та зупинки насоса коли тиск в камері між плунжером і кришкою зменшується і немає достатнього мащення пари.

Ще одна робоча пара котра працює в умовах граничного тертя. Це підп'ятник – похила шайба аксіально-роторного насоса. Вданій робочій парі виникають сили граничного тертя та перегріву деталей підчас пуску і зупинки насоса. Це досить шкідливо впливає на всю роботу насоса та в період, поки мастило не достатньо прогріється. Дане явище зникає після достатнього прогріву мастила котре поступає до підп'ятника за допомогою отвора у порні насоса.

Існує кілька різновидів технологій нанесення покриттів:

Газотермічне напилення (плазмове напилення, газополум'яне напилення, детонаційне напилення, електродугове напилення, високошвидкісне напилення), плазмово-дугове наплавлення, плазмове наплавлення напиленням, швидкісне плазмове наплавлення, газополум'яне наплавлення, плазмове гартування, плазмова модифікація, вакуумні методи плуннанесення покриттів, фінішне плазмове зміцнення(ФПЗ).

Розглянемо забезпечення підвищення працездатності пар тертя за рахунок використання унікальних можливостей прогресивних процесів напилення і наплавлення порошкових матеріалів, фінішного плазмового зміцнення, плазмового гартування і плазмової модифікації.

Мета процесів - виготовлення нових або відновлення зношених деталей і

виробів з антифрикційними властивостями поверхні, що володіють підвищеною стійкістю проти задирів і захоплення, стійкість проти водневого зношування, що забезпечують найкращі умови втримання мастильного матеріалу, зменшення часу припрацювання, зниження шуму і вібрації. Процеси призначені для обробки деталей з вуглецевих, легованих сталей і кольорових сплавів.

Сутність процесів складається:

1 - в нанесенні антифрикційних покриттів товщиною від десятих часток до декількох міліметрів з порошкових матеріалів (металевих, керамічних, полімерних) на поверхню деталей ручними або механізованими плазмотронами, газопламенними пальниками, що забезпечують універсальність процесів, гнучкість регулювання режимів (процеси плазмового наплавлення і газотермічного напилення);

2 - в нанесенні тонкоплівкового (2-4 мкм) аморфного покриття при атмосферному тиску малогабаритним ручним плазмотроном за рахунок плазмохімічних реакцій при використанні спеціальних рідких препаратів (процес плазмового зміцнення фінішного);

3 - підвищення антифрикційних властивостей поверхневого шару основного металу двох або однієї з парних деталей пар тертя за рахунок обробки поверхні спеціальними плазмовими дугами або струменями (процеси плазмового гартування і плазмової модифікації).

Ефект від реалізації процесів полягає в зміні фізико-механічних властивостей нових або відновлених робочих поверхневих шарів: зменшення коефіцієнта тертя, хімічної інертності і специфічної топографією поверхні і інших факторах, збільшення мікротвердості, утворенні на поверхні діелектричного і корозійностійкого плівкового покриття з низьким

коефіцієнтом теплопровідності, створення стискаючих залишкових напружень, заліковування мікрODEфектів [2].

Матеріали антифрикційних покриттів, що наносяться методами наплавлення і напилення:

- металеві (бабіти, бронзи, чавуни),

- керамічні (оксиди, карбіди, нітриди),
- полімерні (фторопласти, поліетилен та ін),
- аморфні.

Вибір антифрикційних покриттів проводиться з урахуванням таких вимог:

- вийняток захоплювання і задирок;
- у разі недосконалого мащення, а також короточасних перерв у подачі мастила до зони контакту мають бути виключені пошкодження тертьових поверхонь і виплавлення антифрикційного шару;
- висока теплопровідність при низькому коефіцієнті теплового розширення;
- відповідність теплофізичних властивостей, що забезпечують роботу в певному тепловому режимі;
- висока зносостійкість;
- сумісність з мастильним матеріалом;
- підтримання стабільного значення коефіцієнта тертя в рухомому сполученні;
- забезпечення мінімального періоду припрацювання;
- висока корозійна стійкість;
- забезпечення заданої довговічності вузла при необхідному значенні коефіцієнта тертя;
- достатня механічна міцність, для забезпечення жорсткості сполучень і витримування нормальних навантажень;
- збереження основних властивостей матеріалу в умовах впливу експлуатаційних факторів як екстремальна температура і вологість, контакт з водою, мастильними та технологічними рідинами, сонячної радіації і т. д.;
- хороша оброблюваність;
- порівняльна простота технологічних процесів при виготовленні деталей і розробці ефективного контролю якості продукції;
- можливість створення параметрів шорсткості поверхонь тертя близьких до рівноважних, тобто забезпечує незначний по тривалості період припрацювання;

- в деяких випадках вони повинні володіти хорошою демпфуючою здатністю, стабільністю лінійних розмірів при зануренні у воду;
- відсутність розкладання, виділення токсичних речовин, матеріалів освіти, що викликають забруднення навколишнього середовища;
- стійкість до мікроорганізмів;
- недефіцитність.

У порівнянні з аналогами - процесами виборчого переносу при терті, фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО), вібраційної обробки, алмазного вигладжування, створення регулярного мікрорельєфу, безабразивної ультразвукової фінішної обробки (БУФО), використання твердомастильних речовин в якості покриттів і модифікуючих присадок, застосування геоенергетичних активаторів, триботехнічного складу НІОД, процеси наплавлення, напилення, фінішного плазмового зміцнення, плазмового гартування і плазмової модифікації, володіють наступними характерними властивостями:

- комплексним рішенням проблем зміцнення і відновлення розмірів;
- оптимальним зміною різних фізико-механічних властивостей поверхневого шару, що призводять до збільшення ресурсу вузла тертя;
- отриманням регламентованої пористості покриття при використанні процесів напилення.

1.2 Газотермічне напилення порошкових покриттів (ПН)

Прогресивний метод захисту деталей і конструкцій від зношування і корозії, відновлення розмірів і декоративної обробки

Сутність ПН полягає в нанесенні покриття з окремих частинок порошкового матеріалу, нагрітого і прискореного з допомогою високотемпературного плазмового струменя.

Мета ПН – виготовлення деталей і виробів зі спеціальними і декоративними властивостями поверхні: зносостійкість (за винятком деталей, що зазнають ударно-абразивне зношування), антифрикційністю, стійкістю до корозії,

жаростійкістю, стійкістю до кавітації, ерозійною стійкістю, електроізоляцією, стійкістю проти фреттинг-корозії та ін..

Ефект від ПН досягається за рахунок створення на поверхні деталі захисного покриття, яке багаторазово підвищує експлуатаційні властивості деталі або відновлює початковий розмір[3].

Обладнання для ПН складається з одного або двох серійних зварювальних джерел живлення, малогабаритного плазмотрона і порошкового дозатора. В якості джерела живлення використовуються установки плазмового зварювання і наплавлення УПНС-304, плазмової обробки УПО-302, УПВ-301, зварювальні випрямлячі ВД-201, ВД-306, ВДУ- 506 і н.. Плазмотрон (потужністю до 25 кВт) та порошковий дозатор виготовляються за оригінальними конструкторськими розробками.

Технологічний процес ПН складається з попереднього очищення будь-яким відомим методом), активаційної обробки (наприклад, абразивно-струменевого) і безпосередньо нанесення покриття шляхом переміщення виробу щодо плазмотрона або навпаки. Швидкість переміщення 2...30 мм/с, відстань між плазмотроном і виробом 100...150 мм, діаметр плями напилення 10...25 мм, товщина покриття 0,05...1,0 мм, Температура нагрівання деталей при ПН не перевищує 100...150 С. Плазмоутворюючого газу є, як правило, аргон або повітря. Витрата аргону 15...20 л/ н.. Як порошкового матеріалу, що формує покриття, використовуються різні матеріали і сплави, тугоплавкі сполуки, оксиди, полімери і їх композиції розміром частинок до 100 мкм[4].

Контроль якості ПН здійснюється візуально за наявністю покриття, а також за результатами н. зій них випробувань на зразках-свідках та н.. методами.

Основні вимоги безпеки при ПН: наявність витяжної вентиляційної системи та захист органів зору від випромінювання.

У порівнянні з аналогами – газополуменевим, електродуговим і детонаційним напиленням, процесами наплавлення і осадження, даний процес має переваги:

- ефективне управління енергетичними характеристиками напилюваних

частинок і умовами формування покриття за рахунок гнучкості регулювання параметрів і режимів роботи плазмотрона;

- високі коефіцієнт використання порошку (до 85%), міцність зчеплення покриття з основою (до 60 Мпа), низька пористість;
- висока продуктивність процесу;
- універсальність за рахунок отримання покриттів з більшості матеріалів без обмеження їх температур плавлення;
- нанесення покриття на вироби, виготовлені практично з будь-якого матеріалу;
- відсутність обмежень за розмірами напилюваних виробів;
- нанесення покриття на локальні поверхні;
- отримання регламентованої однорідної пористості покриття для використання в умовах роботи з мастилом поверхонь ковзання;
- нанесення покриття з мінімальними припусками для подальшої механічної обробки;
- зменшений рівень шуму і випромінювання;
- низька витрата аргону;
- маневреність і можливість автоматизації процесу.

Економічна ефективність ПН визначається:

- підвищенням надійності та довговічності продукції та використовуваної продукції мінімум в два рази;
- скороченням витрат на виготовлення запасних частин;
- економією металу, витраченого на виготовлення запасних частин;
- вивільненням працівників, зайнятих на виготовленні запасних частин і відновлення деталей;

1.3 Плазово-дугове наплавлення порошковими і дротяними матеріалами (ПДН)

Ефективний метод отримання спеціальних властивостей поверхонь і відновлення розмірів зношених деталей і виробів.

Сутність ПДН полягає в нанесенні покриття з розплавленого присадного порошкового або дротяного матеріалу на металеву поверхню з використанням в якості джерела нагріву плазмової дуги, що горить між електродом плазмотрона і виробом.

Мета ПДН - виготовлення нових деталей та виробів зі спеціальними зносо- і корозійностійкими властивостями поверхні, а також відновлення розмірів зношених і бракованих деталей за рахунок нанесення покриттів, що володіють високою щільністю і міцністю зчеплення з виробом, що працюють в умовах високих динамічних, знакозмінних навантажень або схильних до абразивного зношування[7].

Ефект від ПДН досягається за рахунок створення на поверхні виробу міцного, зносостійкого, твердого покриття, яке багаторазово підвищує експлуатаційні властивості або відновлює початковий розмір деталі, при збереженні пластичною, в'язкою, трещиностойкої основи металу.

Обладнання для ПДН складається з зварювального джерела живлення, малогабаритного плазмотрона, порошкового дозатора або пристрої дачі дроту, а також маніпулятора переміщення деталі або плазмотрона. В якості джерела живлення використовуються установки плазмового зварювання і наплавлення УПНС-304, плазмової обробки УПО-302, УПВ-301, плазмової механізованого наплавлення УПН-303, а також зварювальні випрямлячі ВД- 201, ВД-306, ВДУ-506 і ін. Плазмотрон і порошковий дозатор виготовляються з оригінальним конструкторським розробкам. Маніпулятором для переміщення може служити серійне механічне, зварювальне, наплавлювальне обладнання або інші пристрої.

Контроль якості ПДН здійснюється візуально щодо відсутності в наплавленому шарі дефектів та ін. методами.

Основні вимоги безпеки при ПДН: наявність витяжної вентиляційної системи та захист органів зору від випромінювання.

Відмітні особливості ПДН в порівнянні з аналогами - газополуменевого та електродугового наплавленням в середовищі вуглекислого газу і аргону процес ПДН має переваги:

- найменше зниження опору втомі наплавленого виробу;
- незначний припуск на подальшу механічну обробку;
- мінімальна частка основного металу в наплавленому;
- висока стабільність і стійкість дуги;
- максимальна продуктивність;
- мінімальний витрата вольфрамового електрода.

1.4 Гальванічне напилення

Сутність процесу полягає в нанесенні антифрикційного матеріалу за допомогою електролітичних перетворень і осадження металу на поверхню деталі з електролітного розчину. Даний процес дозволяє заздалегідь розрахувати та контролювати товщину покриття, покривати поверхні деталі складної форми. Для досягнення кращих результатів використовують не одноразове занурення в різні електроліти для покращення антифрикційних покриттів.

Переваги:

- відносно дешева собівартість;
- тонкоплівкове покриття по мікротвердості найбільш близько до алмазоподібного покриття;
- малі розміри обладнання;
- відсутність змін параметрів шорсткості поверхні після процесу зміцнення;
- контрольований процес нанесення металу;
- низький коефіцієнт тертя сприяє пригніченню процесів наростоутворення при різанні або налипанні при штампуванні і пресуванні;
- простота в обслуговуванні;
- мінімальний рівень шуму, що не вимагає спеціальних заходів захисту.

Недоліки:

- токсичні.

2 АНТИФРИКЦІЙНІ ГАЛЬВАНІЧНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ СВИНЦЮ: СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ

2.1 Гальванічний метод нанесення сплавів на основі свинцю

В якості антифрикційних матеріалів у машинобудуванні в якості покриттів вкладишів підшипників ковзання широко застосовують легкоплавкі сплави на основі олова та свинцю (так звані - бабіти). Бабіти добре утримують мастило та мають мінімальний коефіцієнт тертя зі сталлю, крім того, застосування м'яких легкоплавких підшипникових сплавів забезпечується менший знос шийки вала.

На основі дослідів експлуатації і результатів досліджень встановлено, що структура бабіта чинить значний вплив на довговічність роботи підшипників ковзання. Як показали механічні випробування, міцність і твердість бабітів з дрібнозернистою структурою на 20 % вище, ніж з грубозернистою[12].

Стаціонарна заливка бабіту не дає можливості отримати дрібнозернистої структури, це все із-за малої швидкості охолодження підшипника. При відцентровій заливці на вид структури впливає різниця питомих мас компонентів бабіту. Особливо це спостерігається у свинцевих бабітах у вигляді значної структурної неоднорідності по товщині антифрикційного матеріалу.

Отримання покриттів бабітів на підшипниках ковзання електрохімічними методами дозволяє управляти структурою покриття. Наприклад: вміст свинцю в сплаві регулюється зміною щільності струму; зернистість структури покриття одержуваного з фтористоборних електролітів. Тому останнім часом покриття бабітів електролітичним способом інтенсивно розвивається технології даного, які дозволяють значно збільшити швидкість нанесення покриття та підвищити якість покриттів.

Свинцево-олов'яні покриття можуть бути нанесенні за допомогою фтористоборних, фенол сульфатних, та кремнефторидних електролітів (таблиця 2.1). Найбільше поширення отримали фтористоборні електроліти (таблиця 2.2).

Таблиця 2.1 Склад електролітів для осадження свинцево-олов'янистих сплавів.

Компоненти електроліту і режими осадження	Електроліти			
	Кремнефто- ридний	Пірофос- фатний	Фенолсуль- фовий	Сульфо- матний
Склад г/л				
кремнефторид свинцю	100-150	-	-	-
кремнефторид олова	15-20	-	-	-
кремнефтористоводневий	60-100	-	-	-
пірофосфат олова	-	20-22	-	-
нітрат свинцю	-	15-18	-	-
пірофосфат натрію	-	120	-	-
фенолсульфовий свинець	-	-	100-130	-
фенолсульфове олово	-	-	25	-
парафенолсульфова кислота	-	-	60-95	-
сульфамат свинцю	-	-	-	40
сульфамат олова	-	-	-	105
сульфаматна кислота	-	-	-	40
пептон	-	-	-	2
желатин	-	-	2	-
Режими осадження				
катодна густина струму, А/дм ²	5	0,5-4	1-2	1-2
анодна густина струму, А/дм ²	2-3	0,1-1	1-2	18-25
температура. °С	18-25	60	20-40	50-60
вміст олова в сплаві, відсотків	10	1-12	8-10	3-10

Як зазначалося раніше, введення в свинцево-олов'янисті сплави невеликої кількості третього компонента дозволяє поліпшити їх властивості і розширити область їх застосування. Найбільш відомі із застосовуваних потрібних сплавів на свинцево-олов'янистій основі - сплави з міддю, сурмою, цинком і кадмієм[13].

Таблиця 2.2 Склад фторборатних електролітів для осадження свинцево-олов'янистих сплавів

Склад електроліту і режим осадження	№ 1	№ 2	№ 3
Фторборат свинцю, г/л	100-200	45-50	50-60
Фторборат олова, г/л	25-75	40-50	20-25
Бористфторводнева кислота, г/л	40-100	40-75	100-150
Борна кислота, г/л	-	25-35	-
Катодна густина струму, А/дм ²	до 2	08-1	4-5
температура, °С	15-25	18-25	18-25
Вміст олова в сплаві, відсотків	5-17	40-60	18-25
Аноди	Сплав Pb-Sn	Pb	Pb/ Sn = 7/3

Для нанесення антифрикційних покриттів на деталі підшипників ковзання з успіхом застосовують свинцево-олов'янисті сплави, що містять мідь і сурму. Ці сплави забезпечують хорошу припрацювання покриття, його хорошу зносостійкість і стійкість проти ерозії. Звичайний склад сплавів: 90 - 93% Pb, 82 % Pb, 11 % Sn, 7 % Sb, 6 - 9% Sn, 0.7 - 2 % Cu.

Для електроосадження всіх потрібних сплавів застосовують, як правило, в фтористо борні електроліти.

Фтористо борні електроліти готують розчиненням солей свинцю і олова в борфтористоводневої кислоти. Даний розчин застосовують коли необхідна висока швидкість осадження матеріалу на поверхню деталі.

Таблиця 2.3 Склад електролітів і режими трійних сплавів на свинцево-олов'янистій основі

Склад електроліту та режим осадження	Електроліт для осадження потрібного сплаву		
	з Zn	з Cu	з Sb
Склад, г/л:			
Фторборат свинцю, г/л	100-180	100-120	100
Фторборат олова, г/л	12-15	25-75	30
Оксид цинку	0.3-0.6	-	-
Фторборат сурми	-	-	5-6
фторборат міді	-	18-20	-
бористофторводнева кислота	45-180	40-60	80
борна кислота	-	-	25
Гідрохінон	-	-	0.5
Пептон	-	15	15
Режими осадження			-
Катодна густина струму, А/дм ²	1.0-1.5	0.5	4
температура, °С	18-25	18-25	18-25

До переваг даних електролітів можна віднести:

- високу швидкість осадження металу;
- приблизно 100% -ний катодний і анодний вихід потоків;
- дрібнозернисту структуру осадженого матеріалу;
- високу стабільність його роботи, а також простоту складу і

приготування електроліту;

- високу електропровідність і покривальну здатність;
- можливість ведення електролізу при кімнатній температурі.

Недоліки фтористоборних електролітів:

- низька розсіююча здатність;

- необхідність застосування спеціальних матеріалів для виготовлення ванн і непридатності скляного електрода для контролю рН;
- складність приготування електроліту і вмісту в ньому токсичних кислот.

Осадження сплавів проводиться з окремими анодами зі сплаву олово-свинець.

Також можна осаджати сплави з допомогою електронатирання. До тампона що був попередньо просочений електролітом підключають вугільний електрод з позитивним зарядом а до деталі підводиться негативний заряд від джерела постійного струму. При безперервному переміщенні тампона можна досягти місцевого покриття сплаву на поверхні деталі. В залежності від щільності струму змінюється кількість свинцю в сплаві свинець-олово.

2.2 Триботехнічні властивості сплавів на основі свинцю та їх структура

Поширеними легкоплавкими сплавами відносяться такі системи Pb - Sb, Sn - Sb і Pb - Sn – Sb, а також бабіти з алюмінію (з добавками міді, сурми, нікелю) та з цинку (з добавками міді та алюмінію).

Бабіти відмінно підлаштовуються і володіють хорошими антифрикційними властивостями завдяки низькій міцності $\sigma_B = 60 - 120$ МПа, HB 13 - 35, невисокій температурі плавлення (220 - 320 °C), підвищеній м'якості HB 100 - 250 МПа при 100 °C.

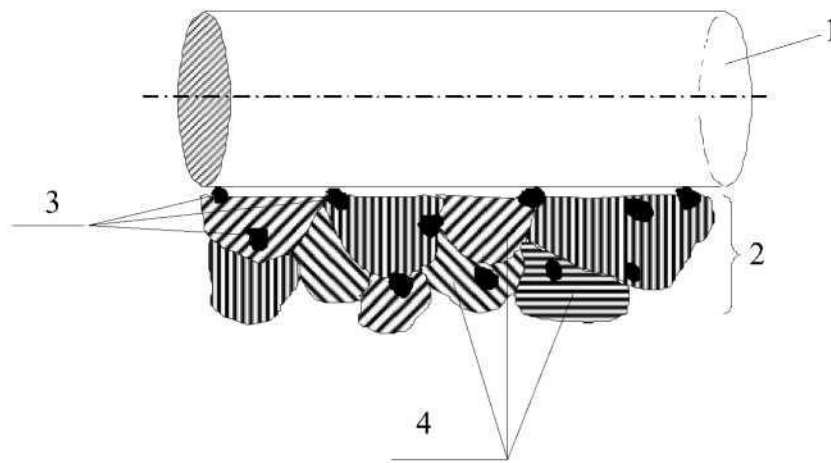
Мідь до складу бабітів вводять з метою попередження ліквідаційних дефектів, пов'язаних з різною щільністю сурми і олова. Так як олово - дорогий і дефіцитний елемент, олов'яні бабіти застосовують тільки в особливо відповідальних випадках. Для підшипників більш широкого застосування в бабіти в значних кількостях вводять свинець і знижують вміст олова до 6 - 10 % або зовсім його не вводять. В таких сплавах основою слугує вже свинець[14].

Таблиця 2.4 Хімічний склад, структура і механічні якості антифрикційних бабітів

Марка	Вміст основних елементів, %						Структура		Механічні властивості				
	Sn	Sb	Cu	Pb	Твердість	Сума включ.	Осн.	Тв. включ.	Густина, г/см ³	α, 10 ⁶	tпл, °C	σв, МПа	δ, відсотків
Б83	Осн	10-12	5,5-6,5	-	-	0,55	Sn	SnSb, Cu3Sn	7,4	21	380	90	6
Б89	Осн	7-8	2.5-3.5	-	-	0,55	Sn	Cu3Sn	7,3	21	342	90	9
Б6	5-6	14-16	2.5-3.0	Осн.	1,7-2,2Cd	0,4	Pb	SnSb, Cu3Sn	9,6	21	460	70	0,5
БТ	9-11	14-16	0.7-1.1	Осн.	0.05-0.2Te	0,6	Pb	SnSb	-	23	-	80	2
БН	9-11	13-15	1.5-2.0	Осн.	0.5-0.9As 0.75-1.2Ni 1.25-1.7Cd	0,35	Pb	SnSb, SnAs2	9,5	-	400	70	1
Б16	15-17	15-17	1.5-2.0	Осн.	-	0,6	Pb	SnSb, Cu3Sn	9,3	24	410	80	0,5
БС	-	16-18	1.01.5	Осн	-	0,5	Pb+ Sb	Sb	10,1	26	410	40	0,5
БК	-	-	-	Осн	0.85-1.2Ca 0.6-0.9Na	0,7	Pb	Pb3Ca, Pb3Na	10,5	26	470	100	2,5

Свинець має твердість близько НВ 3, сурма близько НВ 30. Евтектика складається з 13 % Sb і 87 % Pb, твердість близько 7 НВ - 8.

Доевтектичні сплави, тобто мають структуру евтектика + свинець, занадто м'які, і кращими є заевтектичні сплави, що містять 16 - 18% Sb. М'якою основою є евтектики $\alpha + \beta$ (м'яка складова), а твердими включеннями - β (SnSb), Cu₃Sn і Cu₂Sb, кількість яких становить близько 5% загального об'єму сплаву (Рисунок 2.1).



- 1 – вал;
- 2 – вкладиш;
- 3 – тверді включення;
- 4 – пластична основа.

Рисунок 2.1 – Схема роботи вала із вкладишем/

Бабіти другої групи крім олова, сурми і міді, містять ще добавки інших компонентів. Ці компоненти служать для покращення фізичних властивостей сплаву. Миш'як збільшує ідко текучість (полегшується заливка вкладиша). Кадмій з миш'яком (сплав БН) утворює сполуки $AsCd$, які служать зародками для формування з'єднання $SnSb$ (β -фази). Нікель зміцнює α - розчин, що зменшує зношування. Роль телуру та миш'яку – утворювати дрібні тверді включення ($TePb$ і $AsPb$), що підвищують зносостійкість бабіта.

На залізничному транспорті також застосовують бабіти кальцієві, БК2, БК2Ш, що містять кальцій (0,90 – 1,15 %), натрій (0,7 – 0,8 %), олово (1,5 – 2,0 %) магній (0,5 – 0,15 %), решта свинець. Їх м'якою складовою є α -фаза (твердий розчин Na і Ca в Pb), а твердої складової – кристали Pb , Ca . Натрій і інші елементи, що вводяться в сплав, підвищують твердість α -розчину.

Дефіцитність свинцю, а також олова змушує шукати і застосовувати альтернативні, менш дефіцитні сплави на основі (цинку, алюмінію).

В якості цинкових підшипникових сплавів застосовують сплави марки ЦАМ10-5 і ЦАМ5-10.

Внаслідок високих антифрикційних властивостей і достатньої міцності ці сплави можуть замінити бронзи для вузлів тертя, температура яких не перевищує

100 °С, але ці сплави поступаються бабітам на олов'яній основі. А саме: в пластичності, коефіцієнту лінійного розширення та коефіцієнту тертя. Собівартість майже як для свинцевих бабітів.

Для підвищення антифрикційних властивостей і високого опру руйнуванням від втоми використовують нові трьохшарові підшипники. Найбільш поширені композиції тришарових вкладишів складаються зі сталеві основи, проміжного пористого мідно-нікелевого або порошкового шару і бабіта, що заповнює пори проміжного шару і утворює робочий поверхневий шар товщиною до 100 мкм.

2.3 Огляд попередніх результатів лабораторних випробувань потрійних сплавів Pb-Sn-Sb

З метою прогнозування експлуатаційних властивостей покриттів у вузлах підшипників ковзання корінних шийок колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання в умовах пуску триботехнічні властивості досліджувались у режимі граничного тертя на машині тертя СМТ-1 за схемою вал - частковий вкладиш. Часткові вкладиші були виготовлені з сталі 45 (HRC 58-60) і на них були нанесені покриття олово-свинець-сурма. Випробування по визначенню інтенсивності зношування і коефіцієнта тертя проводили на машині тертя СМТ-1 при навантаженні $F=400$ Н, що забезпечувало тиск у плямі контакту $P=2$ МПа і швидкості 0,6 м/с. При аналізі графіків залежності інтенсивності зношування, коефіцієнта тертя і мікротвердості покриттів Sn-Pb-Sb від вмісту сурми були виявлені екстремальні залежності цих триботехнічних характеристик.

Так видно, що мінімальним зносом при граничному терті має покриття з масовим вмістом солі сурми в електроліті $CSb=14,1$ г/л. Інтенсивність зношування для цього покриття становить $I_m = 0,73$ кг·10⁻⁹/м, що в два рази нижче інтенсивності зношування базового покриття Sn-Pb ($I_m = 1,48$ кг·10⁻⁹/м), і приблизно на 30% нижче інтенсивності зношування покриття з вмістом сурми $CSb=23,4$ ($I_m = 1,05$ кг·10⁻⁹/м). Це ж покриття володіє максимальною мікротвердістю $H50 = 103$ МПа.

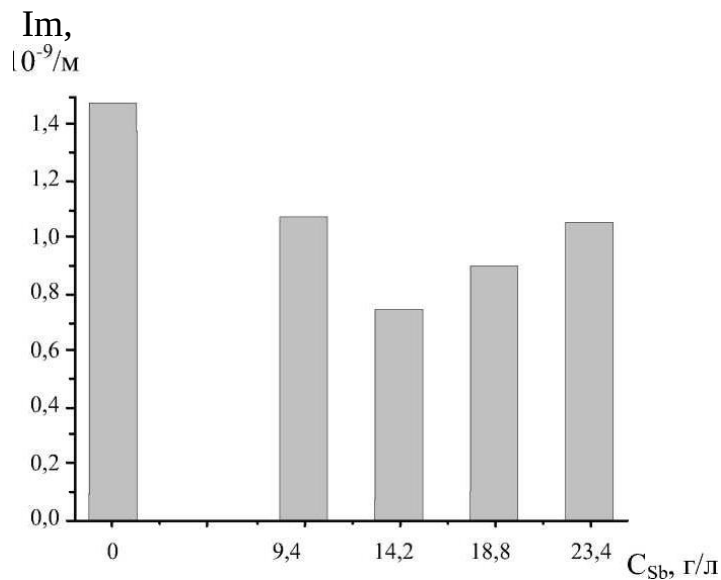


Рисунок 2.2 - Діаграма залежності інтенсивності зношування покриття Sn-Pb-Sb при граничному терті.

Мінімальним коефіцієнтом тертя мають покриття з вмістом сурми $C_{Sb}=14,2$ - $18,8$ г/л ($f = 0,0125$).

Таким чином з діаграм, представлених на рисунках 3.2 і 3.3 видно, що залежності триботехнічної характеристики механічних властивостей покриттів Sn-Pb-Sb від вмісту солей сурми в електроліті знаходяться в кореляційній залежності і мають свої оптимальні значення при масовій концентрації $C_{Sb}=14,2$ - $18,8$ г/л.

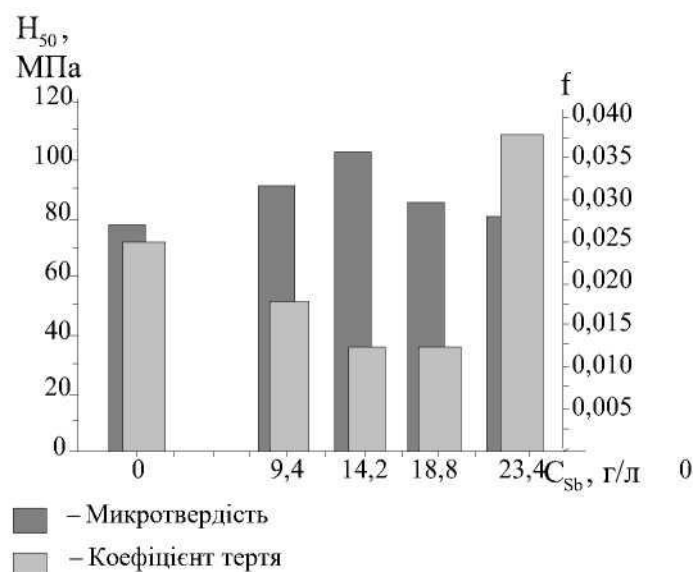


Рисунок 2.3 - Діаграми залежності мікротвердості і коефіцієнта тертя покриття Sn-Pb-Sb від вмісту сурми при граничному терті.

Трикомпонентні покриття Pb-Sn-Sb товщиною 50 мкм з оптимальною концентрацією Sb в електроліті 14,2 г/л, наносилися з борфтористоводневого електроліту з використанням постійного (зразки серії I) та імпульсного (зразки серії II) джерел струму. Щільність струму підтримувалася на рівні 4 А/дм². Імпульсне електроосадження проводилося при частоті 1 кГц і шпаруватості 8 [15,16].

З допомогою рентгенофлюоресцентного мікроаналізатора встановлено, що при осадженні на імпульсному струмі покриття містить приблизно у два рази більше сурми і олова (12 і 28 мас. % відповідно), ніж покриття, осаджені на постійному струмі.

Як показано в результаті випробувань, триботехнічні властивості покриттів, нанесених як імпульсний, так і на постійному струмі, мало відрізняються. Коефіцієнти тертя зразків обох серій близькі (0.025 - 0.030), однак, якщо для покриття, отриманого при використанні імпульсного струму він постійний, то для покриття, осадженого на постійному струмі, він змінюється в процесі випробувань, стабілізуючись приблизно до 7-8 хв від їх початку. У той же час при більш тривалих випробуваннях, при однаковому шляху тертя, що дорівнює 7200 м, спостерігаються досить значні зміни в зносостійкості покриттів: масова інтенсивність зношування покриття з серії II ($I_m = 0.125 \cdot 10^{-5}$ г/м) приблизно на порядок менше ($I_m = 1.514 \cdot 10^{-5}$ г/м) інтенсивності зношування покриття сплавом Pb-Sn-Sb з серії I. Встановлено також, що знос контртіла - вала із загартованої сталі, що перебуває в сполученні з досліджуваними покриттями, нижче в парі тертя з покриттям, нанесеним при використанні імпульсного струму, приблизно в 20 разів.

Значення мікротвердості для зразків з покриттями обох серій приблизно однакові (близько 60 МПа) при навантаженні 50 г, і дещо відрізняються (близько 60 і 80 МПа для покриттів із серії II і I відповідно) при навантаженні 100 г. Шорсткість покриттів до випробувань становить 0.46-0.53 для покриттів I і 0.76 для покриттів II, а після випробувань знижується до 0.47 мкм для обох типів покриттів.

Таблиця 2.5 Результати трибо технічних випробувань покриття Pb-Sn-Sb, отриманих на постійному і імпульсному струмах, при різній довжині шляху тертя.

Назва показника	Покриття Pb-Sn-Sb осадженне на постійному струмі		Покриття Pb-Sn-Sb осадженне на імпульсному струмі	
	900 м	7200 м	7200 м	21600 м
Маса зразка до випробування, г	15. 095	14. 754	12.868	15.450
Маса зразка після випробування, г	15.091	14.645	12.859	15.407
Масовий знос покриття, г	0.004	0.109	0.009	0.043
Інтенсивність зношування покриття, г 10 ⁻⁵	44.4	1.514	0.125	0.208

Інтенсивність зношування загартованого сталевого контртіла в парі тертя з покриттям Pb-Sn-Sb, нанесеному на імпульсному джерелі струму ($I_m = 7 \cdot 10^{-7}$ г/м), також менше інтенсивності його зношування в парі тертя з покриттям, нанесеним на постійному струмі ($I_m = 12 \cdot 10^{-7}$ г/м).

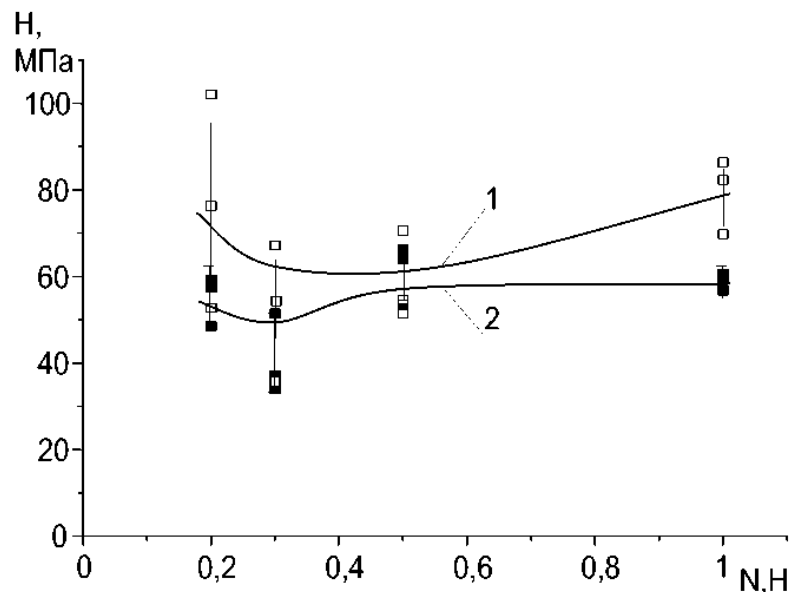
Причому при роботі валу із загартованої сталі в парі тертя з гальванічним покриттям Pb-Sn-Sb, нанесеному на імпульсному джерелі струму зношування вала в 20 разів нижче зносу покриття.

Таблиця 2.6 Зношування ролика при випробуванні Pb-Sn-Sb/

Назва показника	Покриття нанесене джерелом постійного струму	Покриття нанесене джерелом імпульсного струму
Маса зразка до випробування, г	110,283	110,277
Маса зразка після випробування, г	110,277	110,272
Масовий знос покриття, г	0,009	0,005
Інтенсивність зношування ролика, г 10 ⁻⁶ /м	1,2	0,7

Великі значення довірчих інтервалів зміни мікротвердості при навантаженні на індентор менше 40 г дають підставу припустити про те, що поверхні покриттів не є однорідними. Значення їх мікротвердості варіюються в широких межах від 50

до 100 МПа в різних локальних ділянках поверхні (див. Рисунок 2.4). З порівняння мікротвердості покриттів видно, що мікротвердості гальванічних покриттів Pb-Sn-Sb виміряні при навантаженні 50 г, мають однакові значення. Мікротвердість покриття завданої при постійному струмі $H_{50} = 58,97 \pm 9,18$ МПа, на імпульсному джерелі - $H_{50} = 61,0 \pm 6,55$ МПа.



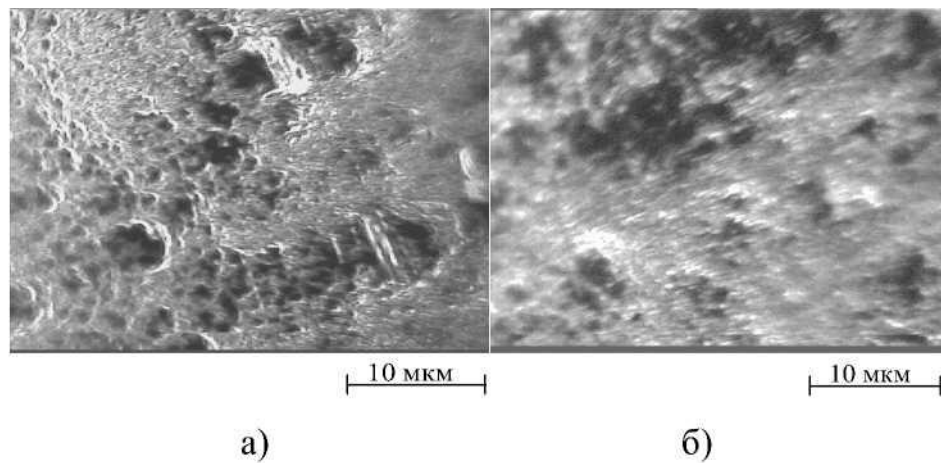
1- покриття осаджене при постійному струмі;

2- покриття осаджене при імпульсному струмі;

Рисунок 2.4 – Графік залежності мікротвердості від навантаження.

При подальшому збільшенні навантаження мікротвердість покриття завданої при постійному струмі збільшується $H_{100} = 79,43 \pm 8,69$, що, ймовірно, пов'язано з впливом твердості підкладки при великих значеннях впровадження індентора. Мікротвердість покриття, нанесеного на імпульсному джерелі від навантаження на індентор не залежить - $H_{100} = 59,01 \pm 2,95$ МПа.

На малюнку 2.5 представлені мікрофото поверхні вихідних покриттів Pb-Sn-Sb. Видно, що ці покриття мають сильно розвинену пористу поверхню з розмірами пор 5 - 20 мкм завширшки.



а – отриманне покриття Pb-Sn-Sb, нанесене за допомогою джерела постійного струму; б – отримане покриття исходное покрытие Pb-Sn-Sb, нанесене за допомогою джерела імпульсного струму;

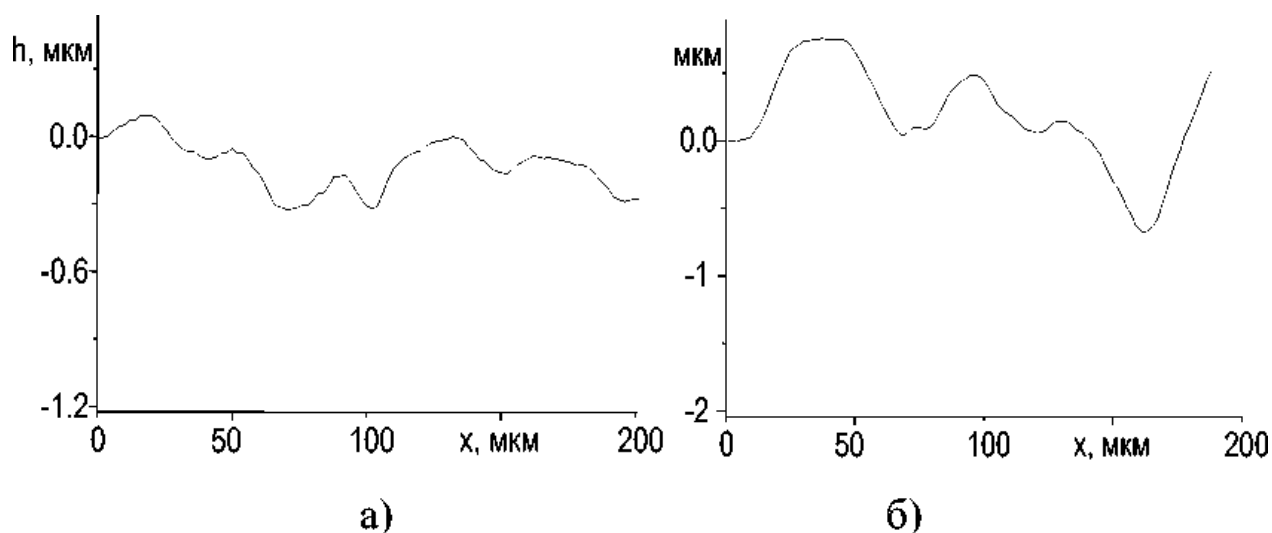
Рисунок 2.5 – Зображення оптичної мікроскопії поверхні отриманих покриттів Pb-Sn-Sb.

Дослідження мікропрофілів поверхні зразків до і після випробувань, а також після металографічного травлення на скануючому електронному мікроскопі показало, що профіль вихідної поверхні зразків досить близька. Травлення виявляє різницю в мікроструктурі поверхні: у зразків, отриманих на постійному струмі, вона більш згладжена і в той же час є ямки травлення найчастіше представляють собою подовжені канавки. На поверхні зразка, осадженого на імпульсному струмі, чітко проглядаються зерна покриття, а також рівномірно розподілені вузькі каверни. Електронно-мікроскопічний аналіз поверхні доріжки тертя показує, що у зразка з серії I вона досить пухка, чіткі межі зерен відсутні, зерна вихідного покриття пластично деформовані вздовж шляху тертя. При дослідженні поверхні доріжки тертя зразка, обложеного при використанні імпульсного струму, видно, що, поряд з незначною кількістю областей, схожі зі зразком із серії I, більша частина поверхні зайнята областями досить щільно упакованими не деформованими зернами, характерними для вихідного зразка.

На ділянках профілограм (див. Рисунок 2.6) видно, що глибина раковин на

покритті, нанесеному на постійному струмі, досягає 0,5 мкм (Рисунок 2.6, а). Шорсткість цих покриттів складає $Ra = 0,46...0,53$ мкм.

Покриття, нанесені на імпульсному джерелі, відрізняються більшою шорсткістю Ra до 0,76 мкм. Розміри пір 20 мкм в ширину і 0,5 ... 0,7 мкм в глибину (Рисунок 2.6, б).



а – отримане покриття Pb-Sn-Sb, нанесене при постійному струмі;

б – отримане покриття Pb-Sn-Sb, нанесене при імпульсному струмі;

Рисунок 2.6 – Фрагменти профілограм поверхні отриманих покриттів Pb-Sn-Sb.

Після випробувань шорсткість знижується до 0.47 мкм для обох типів покриттів.

В результаті триботехнічного досліджень гальванічних покриттів з потрійних сплавів Pb-Sn-Sb з різним вмістом солей сурми в електроліті було встановлено, що інтенсивність зношування трикомпонентного сплаву Pb-Sn-Sb від вмісту $Sb(BF_4)$ в розчині електроліту при сухому терті має екстремальну залежність. Мінімальною інтенсивністю зношування має покриття, сформоване з електроліту з вмістом солі сурми в електроліті $CSb=0.025$ моль/л. Знос для цього покриття становить $НУД=1,33$ мкм/м, що в 6 разів нижче інтенсивності зношування покриття з подвійного сплаву Sn-Sb ($НУД = 8$ мкм/м).

Таблиця 2.7 Результати трибо технічного випробування покриття Pb-Sn, Pb-Sn-Sb

Покриття	Вміст Sb(BF ₄) в розчині електроліту	Навантаження, г	Довжина доріжки L _{дор} , мм	Шлях тертя L _{тер} , мм	Глибина доріжки тертя H, мкм	Питома глибина H _{пит.} , мкм/м	Число циклів n
Pb-Sn	Не містить	150	13	3,25	26	8	250
Pb-Sn-Sb №1	0.025 моль/л	150	13	15,028	20	1,33	1156
Pb-Sn-Sb №2	0.037 моль/л	150	13	3,25	22	6,77	250
Pb-Sn-Sb №3	0.049 моль/л (стандарт)	150	13	5,85	13	2,22	450
Pb-Sn-Sb №4	0,061 моль/л	150	13	5,2	21	4,04	400

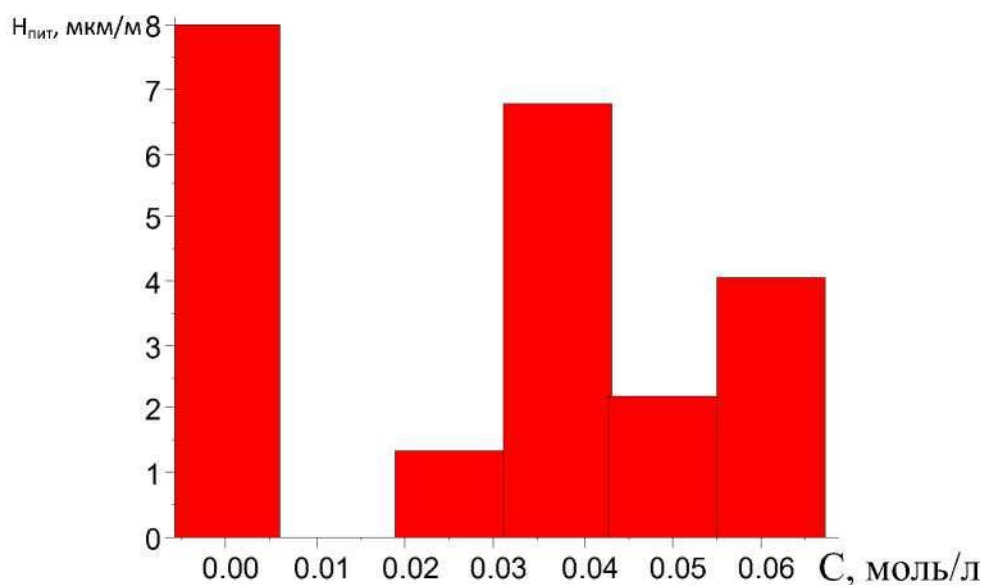
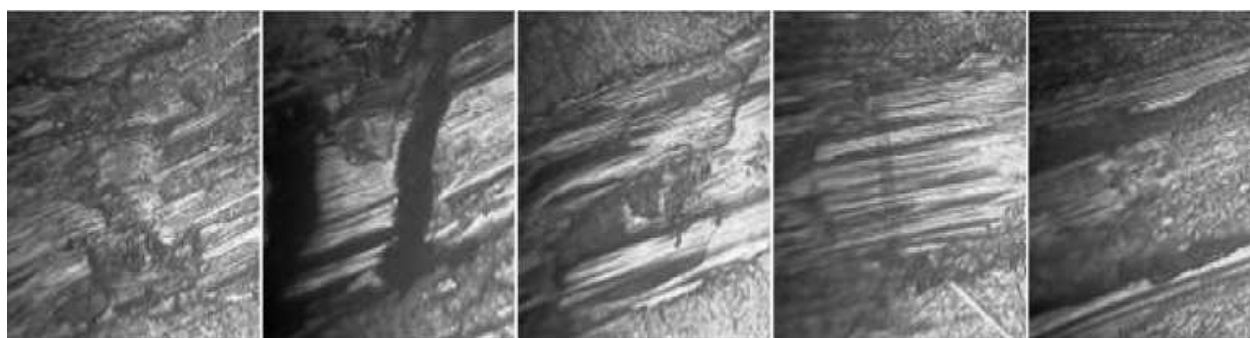


Рисунок 2.7– залежності питомої глибини доріжки тертя від концентрації Sb в електроліті.

Аналіз мікрофотографій доріжок тертя покриття Pb-Sn і Pb-Sn-Sb (див. Рисунок 3.9) показав, що основним механізмом зношування покриття є мікросхоплювання і утворення шарів переносу. При цьому зношування покриття з потрійних сплавів являється більш рівномірним.



а) б) в) г) д)

а - Pb-Sn, б - Pb-Sn-Sb №1, в -Pb-Sn-Sb №2,
г -Pb-Sn-Sb №3, д-Pb-Sn-Sb №4.

Рисунок 3.9 – Мікрофотографії доріжок тертя покриттів Pb-Sn і Pb-Sn- Sb після випробування в режимі сухого тертя.

Таблиця 2.8 Результати триботехнічних випробувань покриття Pb-Sn.

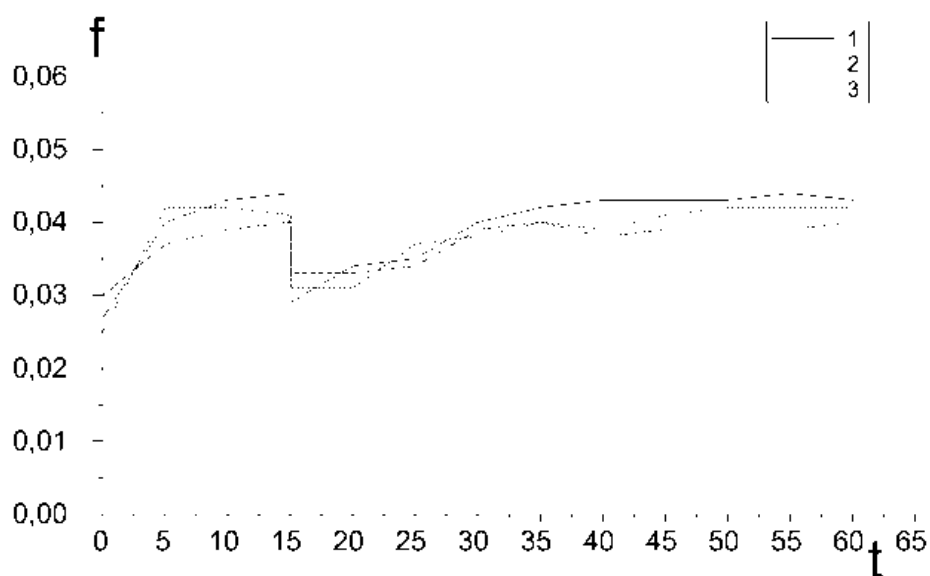
Назва показника	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3
Маса зразка до випробування, г	15,69860	16,40785	16,45855
Маса зразка після зношування покриття, г	15,69635	16,40410	16,45525
Масове зношення покриття, г	0,00225	0,00375	0,00330
Інтенсивність зношування покриття, $\cdot 10^{-7}$ г/м	15,98	26,64	23,44
Середня інтенсивність зношування покриття, $\cdot 10^{-7}$ г/м	22,02		
Маса зразка після випробування, г	15,68235	16,38535	16,44080
Масовий знос зразків, г	0,01625	0,02250	0,01775
Інтенсивність зношування, $\cdot 10^{-7}$ г/м	28,86	39,96	31,52
Середня інтенсивність зношування, $\cdot 10^{-7}$ г/м	33,45		

В ході триботехнічного випробувань покриттів із сплавів Pb-Sn, Pb - Sn-Sb при граничному терті було встановлено, що масова інтенсивність зношування покриттів з потрійного сплаву в 2 – 2,5 рази менше масової інтенсивності зношування покриття з подвійного сплаву. Результати трибо технічних випробувань при граничному терті показані в таблицях 2.8 і 2.9.

Таблиця 2.9 Результати триботехнічного випробування покриття Pb-Sn-Sb.

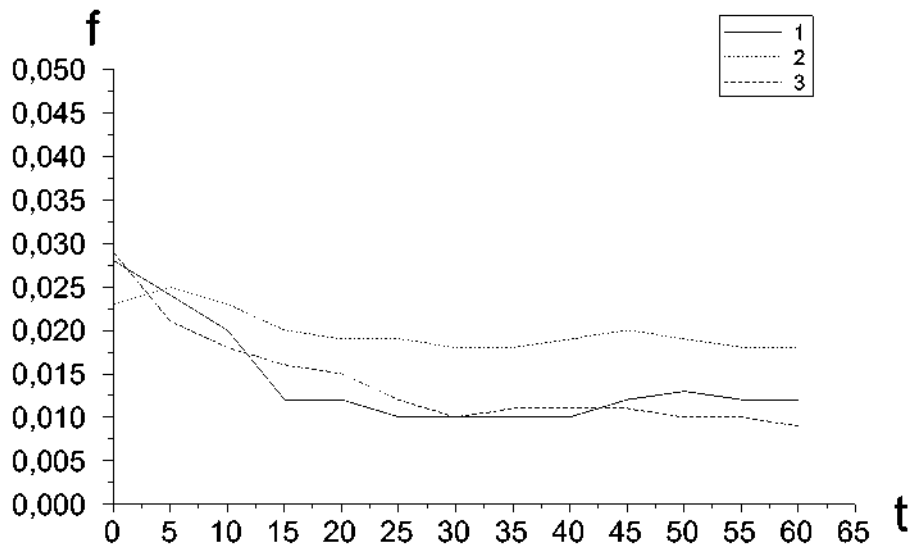
Назва показника	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3
Маса зразка до випробування, г	16,74625	15,91675	16,57845
Маса зразка після зношування покриття, г	16,73940	15,90725	16,57215
Масове зношення покриття, г	0,00685	0,00950	0,00630
Інтенсивність зношування покриття, $\cdot 10^{-7}$ г/м	12,16	16,87	11,19
Середня інтенсивність зношування покриття, $\cdot 10^{-7}$ г/м	13,4		

Також була встановлена залежність коефіцієнта тертя покриттів із сплавів Pb-Sn, Pb-Sn-Sb від часу. Результати випробувань представлені на рисунках 2.9 і 2.10.



1 - зразок №1 2 - зразок №2 3 - зразок №3.

Рисунок 2.9 – Зміна коефіцієнта тертя в залежності від часу при випробуванні покриття Pb-Sn.



1- зразок №1; 2- зразок №2; 3- зразок №3.

Рисунок 2.10 – Зміна коефіцієнта тертя в залежності від часу при випробуванні покриття Pb-Sn-Sb.

З рисунка 2.10 видно, що при терті Pb-Sn-Sb час припрацювання мало, коефіцієнт тертя поступово знижується. Через 15 хв він виходить на усталений режим і не перевищує 0,01-0,02. При терті Pb-Sn, навпаки, коефіцієнт тертя збільшується і необхідно більше часу, щоб режим тертя встановився ($f=0,03 - 0,045$). З таблиць 2.8 і 2.9 видно, що інтенсивність зношування покриття Pb-Sn-Sb в 2,4 рази менше, ніж покриття Pb-Sn.

3 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Методики проведення випробувань

Методики триботехнічних випробувань

Дослідження триботехнічних параметрів покриттів можна здійснювати різними методами з використанням різних схем випробувань. При оцінці міцнісних параметрів нового типу матеріалів на перших етапах дослідження, як правило, зіставляються і аналізуються результати випробувань за різними схемами і вибирається найбільш оптимальний варіант, який використовується в подальшому. За результатами аналізу існуючих методик, схем випробувань і технічних характеристик трибометрів, найбільш придатними для випробувань гальванічних покриттів прийняті машина тертя СМТ-1 (схема випробувань частковий вкладиш - ролик і площина - ролик за стандартом ASTM) і лабораторний мікротрибометр ММТ (схема випробувань куля - площина).

Методика випробувань за схемою куля-площина переважно застосовується для дослідження триботехнічних характеристик тонких покриттів при низьких швидкостях ковзання і великих (за рахунок малої площі контакту) контактних тисків в зоні тертя. Методика не є стандартизованою, однак, дозволяє оцінити втрати маси зразка за фіксований час випробувань і зробити попередній прогноз відносної зносостійкості.

$$V = \pi \cdot h^2 \left(R \cdot \frac{h}{3} \right), \quad (4.1)$$

$$h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{\langle d \rangle}{2} \right)^2}, \quad (4.2)$$

де $\langle d \rangle$ - середній діаметр плями зносу,

R - радіус кульового індентора;

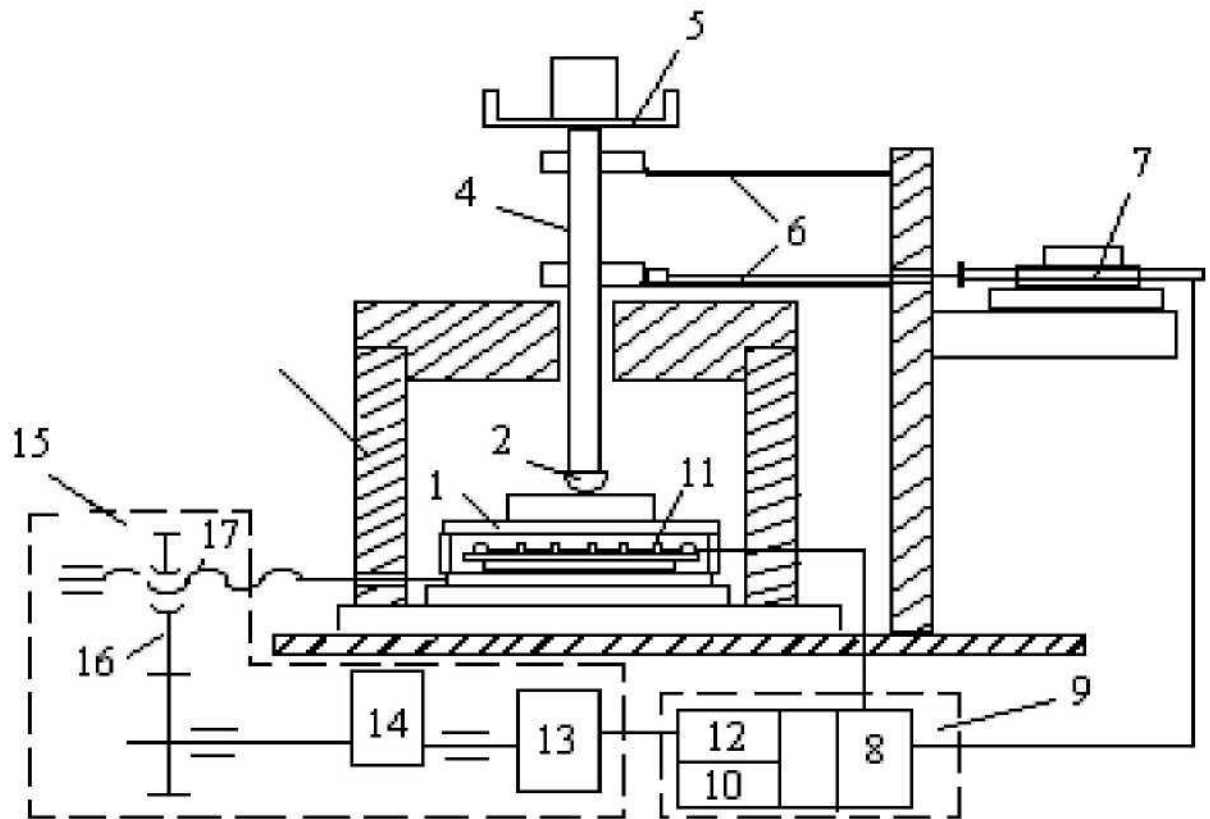
h- товщина антифрикційного шару.

а також вимірювання глибини і ширини доріжки тертя на підкладці методами профілометрії і оптичної мікроскопії.

Методика даного експерименту включає можливість реєстрації коефіцієнта тертя в процесі експерименту, вимірювання об'ємного зносу покриття на

кульовому інденторі методом обчислення обсягу кульового сегмента по середньому діаметру плями зносу.

Схема зворотно-поступального мікротрибометра ММТ приведена на рисунку 3.1.



1 плоский зразок; 2 держатель зонду; 3 Термокамера; 4 механізм навантаження; 5 калібрований вантаж; 6 пружні елементи; 7 система зміни сили тертя; 8 механізм переміщення; 9 пульт управління; 10 блок регулювання швидкості; 11 блок вимірювання контактної опору; 12 нагрівальний елемент; 13 двигун; ; 14 редуктор; 15 механізм переміщення 16,17 привід.

Рисунок 3.1 - Схема мікротрибометра ММТ.

Покриття були нанесені на бронзову підкладку і відрізнялися різним вмістом Sb в електроліті. Товщина покриття - 25 мкм.

Режим випробувань зразків Pb-Sn, Pb-Sn-Sb:

- навантаження $P = 50$ м;
- діаметр індентора $d = 6$ мм;
- швидкість зворотно-поступального руху $v = 1,33 \cdot 10^{-2}$ м/с;

- довжина доріжки тертя - 13 мм;
- відносна вологість повітря при випробуваннях без змащення - 50%;

Число циклів по-різному для кожного зразка.

Для визначення коефіцієнта тертя для покриттів з потрібних сплавів проводилися триботехнічні випробування в режимі граничного змащення.

Режим випробувань зразків Pb-Sn, Pb-Sn-Sb:

- навантаження $P = 300$ м;
- діаметр індентора $d = 6$ мм;
- швидкість зворотно-поступального руху $v = 1,33 \cdot 10^{-2}$ м/с;
- довжина доріжки тертя - 13 мм.

Отримані результати оброблялися статистично за допомогою програми MathCAD з одержанням графіків.

Методика вимірювання мікротвердості

Вимірювання мікротвердості покриттів проводили на мікротвердомірі ПМТ-3. Мікротвердомір ПМТ-3 являє собою спеціальний мікроскоп для вимірювання мікротвердості різних матеріалів. Метод вимірювання мікротвердості на приладі ПМТ-3 заснований на вимірюванні лінійної величини діагоналі відбитка, одержуваного від вдавлювання алмазної піраміди в досліджуваний матеріал під певним навантаженням. Алмазна піраміда має квадратну основу і кут при вершині 1360 між протилежними гранями. Розміри відбитків вимірюють з допомогою мікроскопа і гвинтового окулярного мікрометра. Мікротвердомір ПМТ-3 забезпечений двома ахроматичними епіоб'єктивами $F=6.16$, $A=0.65$ і $F=2.32$, $A=0.17$, розрахованими для довжиною тубуса "нескінченність" і коригованими для препаратів без покривного скла[17].

Спеціальний освітлювач приладу спільно з епіоб'єктивами забезпечує можливість спостереження об'єктів в світлому і темному полі. Мікротвердомір ПМТ-3 забезпечений обертовим предметним столиком, розташованим на підставі приладу.

Переміщення столика здійснюється двома мікрометричними гвинтами в

двох взаємно перпендикулярних напрямках. Ціна поділки барабана гвинтів дорівнює 0,01 мм

Мікротвердість вимірювали при навантаженні на піраміду 50 г.

Методика дослідження профілю поверхні покриттів

В ході триботехнічного випробування за схемою куля-площина лінійне зношування контртіла обчислювалося за величиною плями зносу на сталевій кульці. Розміри плями зносу визначали у двох взаємоперпендикулярних напрямках за допомогою оптичного мікроскопа МИМ-7 з коефіцієнтом масштабного збільшення $\times 300$, тарований за допомогою стандартного (ГОСТ 7513 - 55) об'єкт мікрона. Зображення доріжок тертя отримували за допомогою цифрової відеокамери, підключеної до ЕОМ.

Методика профілометрії

Для оцінки глибини доріжки тертя використовувалися профілограми, отримані за допомогою профілометра "Калібр", підключеного до комп'ютера через 12-ти бітний аналогово-цифровий пристрій (АЦП)[18].

Поперечні профілограми доріжок тертя отримували при довжині шляху зонда $L=1.5$ мм і межі вимірювання - 10 мкм, що при застосуванні даного АЦП відповідало тарувального коефіцієнта $k = 0.01$ мкм.

Отримані результати статистично оброблялися за допомогою програми MATHCAD з одержанням графіків (див. п. 2.5).

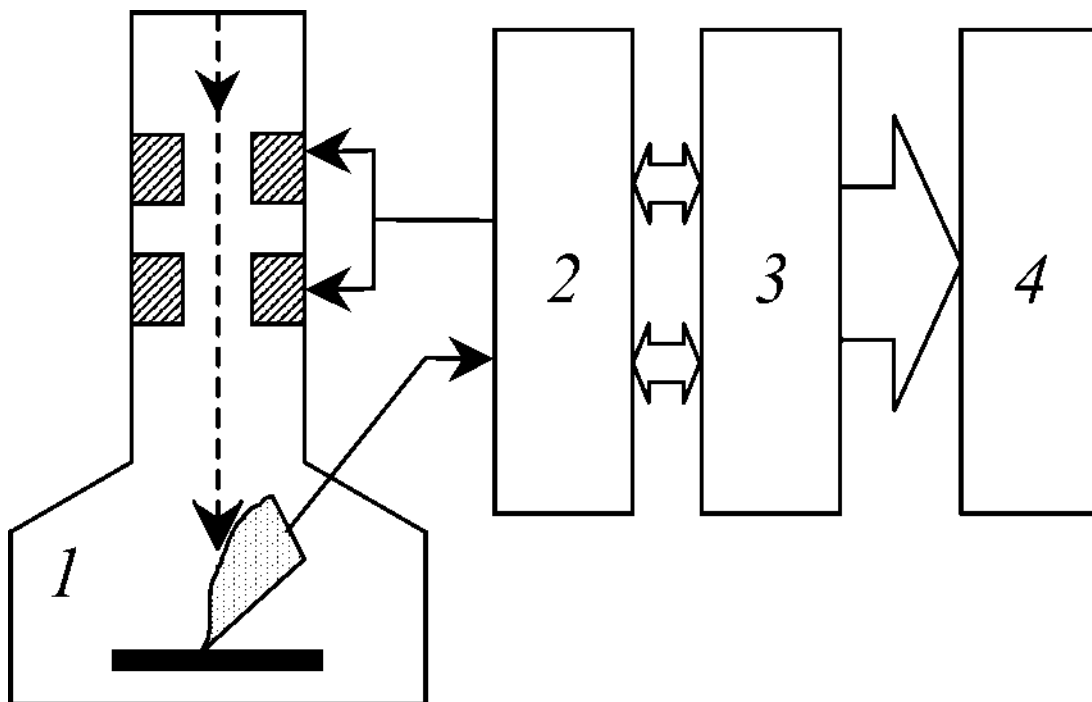
Методика розчинного електронного мікроскопа (РЕМ)

Вивчення профілю поверхонь покриттів з подвійного сплаву і потрійних сплавів здійснювали на розчинному електронному мікроскопі (РЕМ) LEO-1420.

Методика РЕМ дозволяє отримувати інформацію про топографії досліджуваної поверхні. Інтенсивність потоку відбитих електронів залежить від кута нахилу точки поверхні до падаючого променя. Розподіл яскравості в зображенні визначається нахилом відповідної ділянки поверхні. Отримане таким

чином зображення топографічного контрасту дозволяє судити про мікрошорсткості поверхні[15].

Число відбитих електронів залежить від атомного номера речовини об'єкта. Зміна атомного номера на одиницю веде до зміни відбивної здатності приблизно на один відсоток. Якщо потенціал на сітці відсутній або є негативним, чи немає топографічного контрасту, ми можемо отримати контраст за хімічним складом.



1 - РЕМ; 2 - аналогово-цифровий - цифро-аналоговий перетворювач ;
3 - ЕОМ; 4 – пристрій виводу інформації.

Рисунок 3.2 – Структурна схема комплексу РЕМ-ЕОМ.

Для проведення досліджень зразок закріплюється на тримачі. Для цього поверхню держателя покривають електропровідним клеєм, і зразок закріплюють не досліджуваною стороною. Навколо зразка наноситься шар клею для отримання кращого контакту між зразком і держателем.

Після проведення підготовчих операцій зразок поміщається в колону мікроскопа і встановлюється в положення, відповідне максимальної вторинної емісії електронів. Потім вибирається зацікавлена ділянка об'єкта і проводиться

реєстрація зображення на фотоносії, або зображення за допомогою спеціального інтерфейсу оцифровується і записується у вигляді файлу на комп'ютері. Схема комплексу РЕМ - ЕОМ представлені на рисунку 3.2.

Методика мікроструктурного і фазового аналізу

Методика металографічного травлення. Для виявлення мікроструктури потрібного сплаву Pb-Sn-Sb проводилося травлення покриття в дві стадії. Травлення свинцю проводилося водним розчином азотної кислоти [5,5 мл HNO₃; 100 мл H₂O] протягом 5 хвилин. Водний розчин азотної кислоти дозволяє виявити мікроструктуру сплавів олова зі свинцем. Багата свинцем фаза розчиняється суттєвіше.

Потім проводиться травлення поверхні покриття водним розчином трихлористого заліза [11 р FeCl₃; 100 мл H₂O] протягом 5 хвилин. Цей реактив використовується при мікроскопічному дослідженні сплавів олова з сурмою. Олов'яна фаза забарвлюється в чорний колір, SnSb-фаза протравлюється в різні тони з жовтуватим відтінком, а Sb-фаза залишається світлою [16].

Статистична обробка отриманих результатів

Статистична обробка результатів вимірювання мікротвердості. Мікротвердість покриттів визначали за формулою:

$$H = \frac{1854 \cdot P}{d^2} , \quad (4.3)$$

де P – навантаження на індентор;

d – довжина діагоналі відбитка.

Статистична обробка результатів вимірювання мікротвердості включала в себе:

-обчислення середнього арифметичного значення мікротвердості покриттів Pb-Sn, Pb-Sn-Sb за результатами п'яти вимірювань на мікротвердомірі ПМТ-3:

$$\overline{H} = \frac{1}{n} \sum H , \quad (4.4)$$

де n – кількість вимірювань $n = 5$;
-середнього арифметичного відхилення S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_n (H_i - \bar{H})^2}{n(n-1)}}, \quad (4.5)$$

-довірчого інтервалу, обчисленого з урахуванням надійності $P = 0.95$, і коефіцієнта Стюдента $t_p = 2.75$

$$\langle H \rangle = t_p \cdot S, \quad (4.6)$$

- відносної похибки

$$\varepsilon = \pm \frac{\langle H \rangle}{H} \cdot 100\% \quad (4.7)$$

Статистична обробка результатів триботехнічних випробувань

У цьому випадку лінійний знос контртіла визначали за формулою:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (4.8)$$

де R - радіус сталеві кульки, $R = 3$ мм; d - діаметр плями зносу сталеві кульки.

Інтенсивність зношування сталеві контртіла обчислювали за формулою:

$$I = \frac{h}{L} \quad (4.9)$$

$$L = n \cdot l, \quad (4.10)$$

де h – лінійний знос сталеві контртіла;

L – довжина шляху тертя;

n – кількість циклів тертя;

l – довжина шляху тертя за один цикл, $l = 26 \cdot 10^{-3}$ м.

За обчисленим значенням у роганому середовищі MathCAD були побудовані графіки залежності лінійного зносу та лінійної інтенсивності зношування сталевого контртіла від кількості циклів тертя і довжини шляху тертя відповідно для покриттів Pb-Sn, Pb-Sn-Sb з різним вмістом сурми в електроліті.

Величину об'ємного зносу покриттів визначали за поперечними доржками тертя прфілограми. Профілограми, зняті за допомогою профілометра системи "Калібр" і персонального комп'ютера як пристрою реєстрації, надалі зазнавали статистичної математичної обробки в програмному середовищі MathCAD. Статистична математична обробка полягала у відніманні з профілю згладжує функцію полінома другого ступеня (див. Рисунок 3.3):

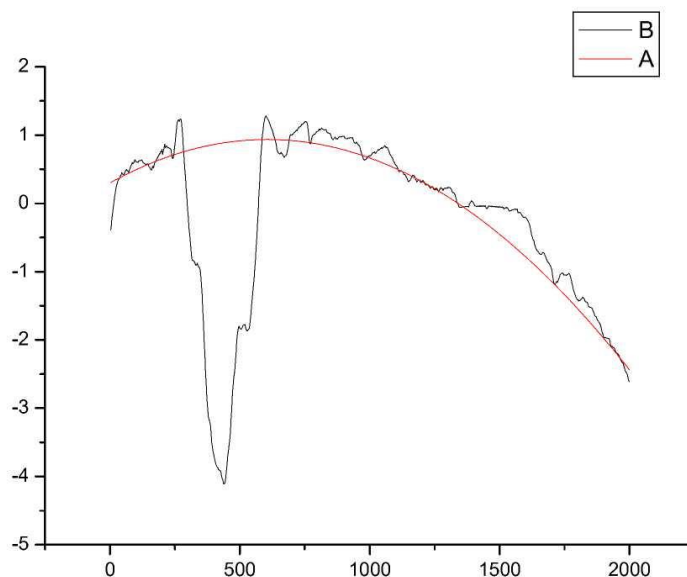
$$Y = A + B1 \cdot x + B2 \cdot x^2$$

Для статистичної обробки результатів обчислення площі поперечного перерізу доріжки тертя знімали по три профілограми в різних точках доріжки тертя і визначали середнє арифметичне значення

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum S \quad (4.11)$$

де S – площа поперечного перерізу доріжки тертя;

n – число профілограм, знятих з доріжки тертя в різних точках, $n = 3$.



В- крива профілю поверхні А- згладжена крива профілю поверхні.

Рисунок 3.3 - Згладжування профілю поліномом другого ступеня.

Це дозволяло при подальшому аналізі профілограм не враховувати макронерівності, викликані геометричними відхиленнями поверхні зразків від ідеальної площини.

За сглаженному профілю визначали площу поперечного перерізу доріжки тертя S (див. Рисунок 3.4) методом чисельного інтегрування функції профілю також за допомогою програмного середовища MathCAD.

Антифрикційний підп'ятник похила шайба зносостійкість.

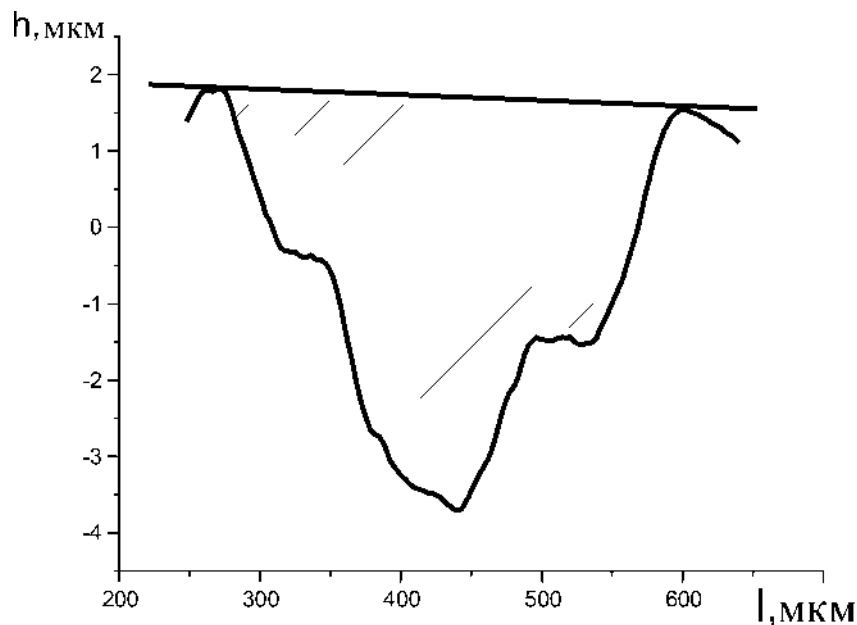


Рисунок 3.4 - Профіль поперечного перерізу доріжки тертя.

Об'ємний знос покриттів визначали за формулою

$$V = S \cdot L, \quad (4.12)$$

де S – площа поперечного перерізу доріжки тертя;

L – довжина доріжки тертя, $L = 13$ мм.

За обчисленим значенням були побудовані графіки залежності об'ємного зносу покриттів Pb-Sn, Pb-Sn-Sb від кількості циклів тертя за допомогою програми MathCAD.

3.2 Вплив процесів тертя на структуру гальванічних покриттів PB-SN-SB

Структура і механічні характеристики покриттів в залежності від вмісту сурми в електроліті

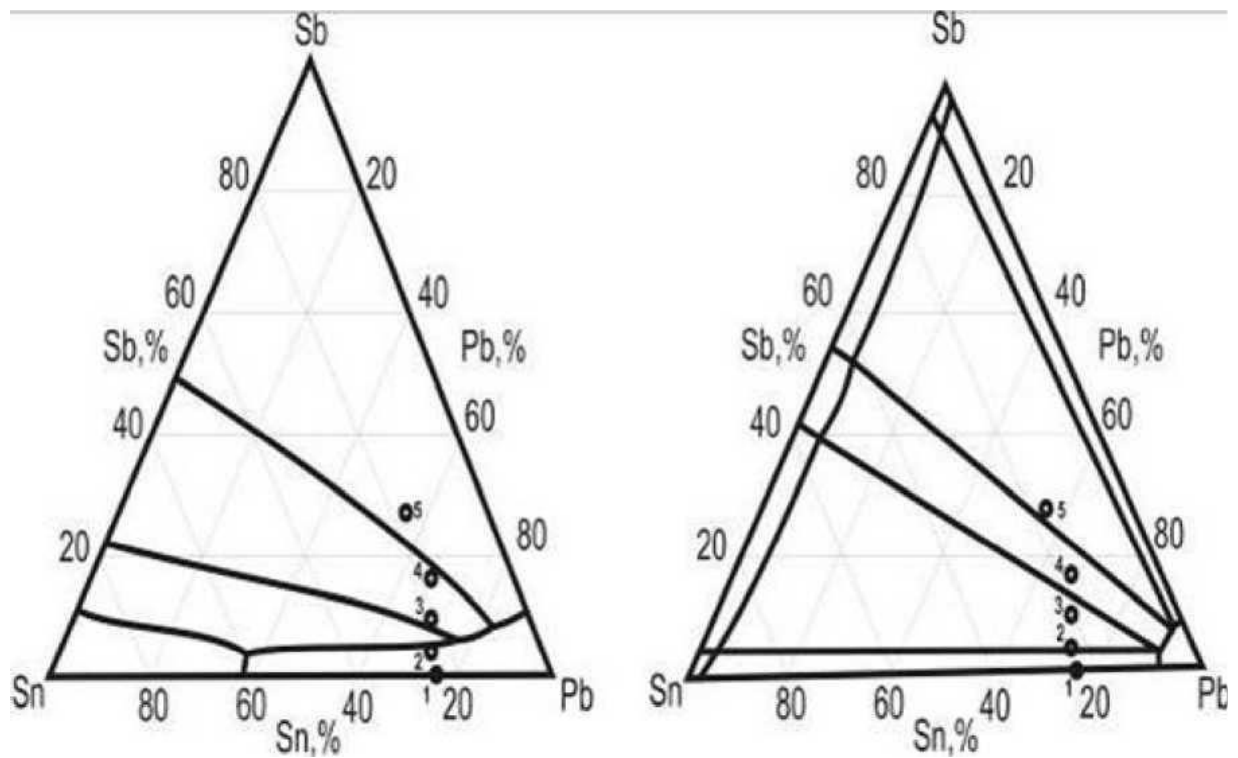
Для визначення фазового складу сплавів, попередньо піддані металографічному протруюванню зразки з покриттями були досліджені методом скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). В результаті досліджень були отримані зображення поверхонь вихідного і протруєного покриття, а також доріжок тертя непротруєних покриттів і покриттів після протруєння. Також було визначено елементний склад покриття і процентний вміст свинцю, олова і сурми в сплаві (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Вміст хімічних елементів у сплаві Pb-Sn-Sb.

№ сплава	Вміст . Sb в електроліті, г/л	C(Pb), %	C(Sn), %	C(Sb), %
№1	-	75,44	24,56	-
№2	9,5	71,25	23,2	5,55
№3	14,2	67,7	21,3	12,0
№4	18,8	64,2	17,7	18,1
№5	23,5	56,6	16,3	27,1

При формуванні гальванічних покриттів з потрійних сплавів окремі фази можуть не виділятися, і хімічні елементи сплаву рівномірно розподіляються в об'ємі покриття. Однак при терті матеріал покриттів нагрівається, плавиться і після охолодження вдруге кристалізується, в результаті чого в сплавах виділяються окремі фази.

Фазовий аналіз сплавів Pb-Sn-Sb з різним вмістом сурми в сплаві був проведений за допомогою діаграми потрійних сплавів Pb-Sn-Sb при вторинній кристалізації (див. рисунок 3.5) та зображень мікроструктур, отриманих на РЕМ LEO-1420, а також була визначена залежність механічних властивостей покриттів від фазового складу сплавів.



а – первинної; б – вторинної (20 °C)

Рисунок 3.5 – Діаграма Pb-Sn-Sb; проекція фазових областей при кристалізації.

При вторинній кристалізації подвійного сплаву Pb-Sn № 1 з вмістом $C(\text{Pb}) = 75,44\%$, $C(\text{Sn}) = 24,56\%$ утворюються фази $\text{Pb} + \alpha(\text{Sn})$, і після травлення свинцю на поверхні покриття можна спостерігати чисту фазу олова, яка має пористу структуру.

При вторинній кристалізації сплаву № 2 з концентрацією $C(\text{Pb}) = 71,25\%$, $C(\text{Sn}) = 23,2\%$, $C(\text{Sb}) = 5,55\%$ в сплаві виділяються фази $\text{Pb} + \alpha(\text{Sn}) + \beta(\text{SnSb})$. Після травлення доріжки тертя на поверхні покриття присутні фази $\alpha(\text{Sn})$ і евтектика олова з сурмою, яка має вигляд білих включень на сірому полі фази $\alpha(\text{Sn})$. Сплав має пористу структуру.

Після кристалізації сплаву № 3 з концентрацією $C(\text{Pb}) = 67,7\%$, $C(\text{Sn}) = 21,3\%$, $C(\text{Sb}) = 12,0\%$ в сплаві присутні фази $\text{Pb} + \beta(\text{SnSb})$, і після травлення свинцю на поверхні покриття залишається евтектика $\beta(\text{SnSb})$. Оскільки вміст олова в сплаві значно більше змісту сурми, покриття має пористу структуру.

При вторинній кристалізації сплаву № 4 з концентрацією елементів у сплаві: $C(\text{Pb}) = 64,2\%$, $C(\text{Sn}) = 17,7\%$, $C(\text{Sb}) = 18,1\%$ утворюються фази $\text{Pb} +$

$\beta(\text{SnSb})$, і після травлення свинцю на поверхні покриття залишається чистий евтектика $\beta(\text{SnSb})$. Однак із збільшенням вмісту сурми в сплаві структура стає більш рівномірною, дисперсна.

Таблиця 3.2 Значення мікротвердості покриттів із сплавів Pb-Sn, Pb-Sn-Sb.

Покриття	Діагональ відбитка d, дел	$\langle d \rangle$, дел	d, мкм	$\langle d \rangle$, мкм	H50, МПа
Pb-Sn	3,27/3,52	3,40	56,7	54,62	31
	3,14/3,19	3,17	52,8		
	3,35/3,49	3,42	57		
	3,26/3,10	3,18	53		
	3,18/3,26	3,22	53,6		
Сплав Pb-Sn-Sb № 1, Sb 9,5 г/л	3,52/3,56	3,54	59	56,98	29
	3,63/3,49	3,56	59,3		
	3,35/3,30	3,33	55,5		
	3,47/3,47	3,47	57,8		
	3,31/3,09	3,20	53,3		
Сплав Pb-Sn-Sb № 2, Sb 14,2 г/л	4,13/4,09	4,11	68,5	66,52	21
	4,2/4,23	4,22	70,3		
	3,88/4,02	3,95	65,8		
	3,83/3,80	3,82	63,7		
	3,89/3,82	3,86	64,3		
Сплав Pb-Sn-Sb № 3, Sb 18,8 г/л	1,67/1,59	1,63	27,2	27,78	121
	1,61/1,70	1,66	27,7		
	1,81/1,66	1,74	29		
	1,70/1,70	1,70	28,3		
	1,59/1,61	1,60	26,7		
Сплав Pb-Sn-Sb № 4, Sb 23,5 г/л	1,0/1,01	1,0	16,7	18,68	265
	1,16/1,24	1,20	20		
	1,10/1,15	1,13	18,8		
	1,14/1,10	1,12	18,7		
	1,16/1,14	1,15	19,2		

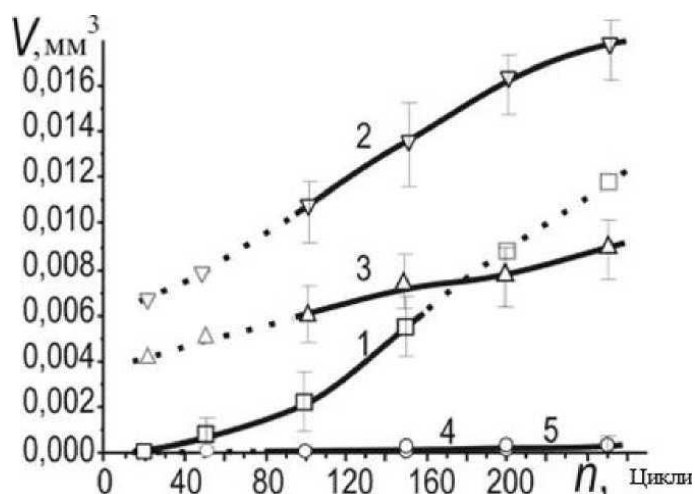
В сплаві № 5 в сплаві з вмістом Pb = 56,6 %, Sn = 16,3 %, Sb = 27,1 % крім

Pb і евтектики $\beta(\text{SnSb})$ виділяється фаза $\gamma(\text{Sb})$, яка являє собою чорні включення, рівномірно розподілені по всьому об'єму сплаву (див. рисунки 3.3, 3.4-г). У цього сплаву структура кардинально відрізняється від попередніх структур сплавів. Покриття дрібнодисперсне, рівномірний, щільне.

Збільшення вмісту сурми в електроліті веде до збільшення вмісту сурми в сплаві. Якщо олово і свинець є м'якої складової сплаву, то введення сурми в сплав збільшує його твердість. Таким чином, показано, що збільшення вмісту сурми в сплаві веде до вирівнювання, подрібнення структури, усунення пористості покриття, поліпшення механічних властивостей покриттів.

Триботехнічні характеристики покриттів

Для визначення властивостей покриттів триботехнічного проводилися випробування в режимі сухого тертя і при граничному меценні на мікротрибометрі ММТ за схемою куля - площина. При випробуваннях в режимі сухого тертя визначали об'ємний знос гальванічних покриттів після певної кількості циклів. Результати триботехнічного випробувань представлені на графіку 16 в таблиці 3.3. При терті в умовах граничного змащування протягом 1000 циклів тертя реєстрували коефіцієнт тертя (див. рисунок 3.6).



сплав Pb-Sn; сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 9,5 г/л в електроліті; сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 14,2 г/л в електроліті; сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 18,8 г/л в електроліті; сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 23,5 г/л в електроліті.

Рисунок 3.6 - Графік об'ємного зносу покриттів.

Таблиця 3.3 Об'ємний знос гальванічних покриттів Pb-Sn, Pb-Sn-Sb.

Цикли ходів	Pb-Sn	Sb 9,5 г/л	Sb 14,2 г/л	Sb 14,2г/л +пауза	Sb 18,8 г/л	Sb 23,5 г/л
20	1,43E-4	4,38E-3*	6.31E-3*	1,9E-3	0,16E-5*	0,44E-4*
50	9,29E-4	4,95E-3*	8.01E-3*	4,21E-3	0,11E-4*	0,68E-4*
100	22,2E-4	5,92E-3	10,76E-3	12,93E-3	0,26E-4	0,78E-4
150	55E-4	6,88E-3	13,52E-3	14,43E-3	1,04E-4	1,17E-4
200	86,3E-4*	7,31E-3	16,28E-3	15,99E-3*	1,69E-4	1,56E-4
250	11,79E-3*	8,89E-3	17,8E-3	17,54E-3*	3,12E-4	2,73E-4

* значення отримано екстраполяцією.

На підставі проведених раніше вимірювань мікротвердості було встановлено, що зі збільшенням вмісту сурми в електроліті понад 14,2 г/л різко збільшується твердість матеріалу покриттів, знижується пластичність. За результатами триботехнічного випробувань потрійних сплавів Pb-Sn-Sb, поданими на графіку 8 б, можна зробити висновок, що зі збільшенням вмісту сурми в електроліті і в сплаві, знижується знос покриттів.

Найменший об'ємний знос покриттів спостерігається у зразків №4 та №5 з вмістом сурми в електроліті 18,8 г/л і 23,5 г/л відповідно, для яких об'ємний знос після 250 циклів стирання менше об'ємного зносу покриттів з подвійного сплаву Pb-Sn в 43 рази. Для цих покриттів характерна висока мікротвердість, вони витримують високі контактні тиски, тертя відбувається за меншою фактичною площею контакту.

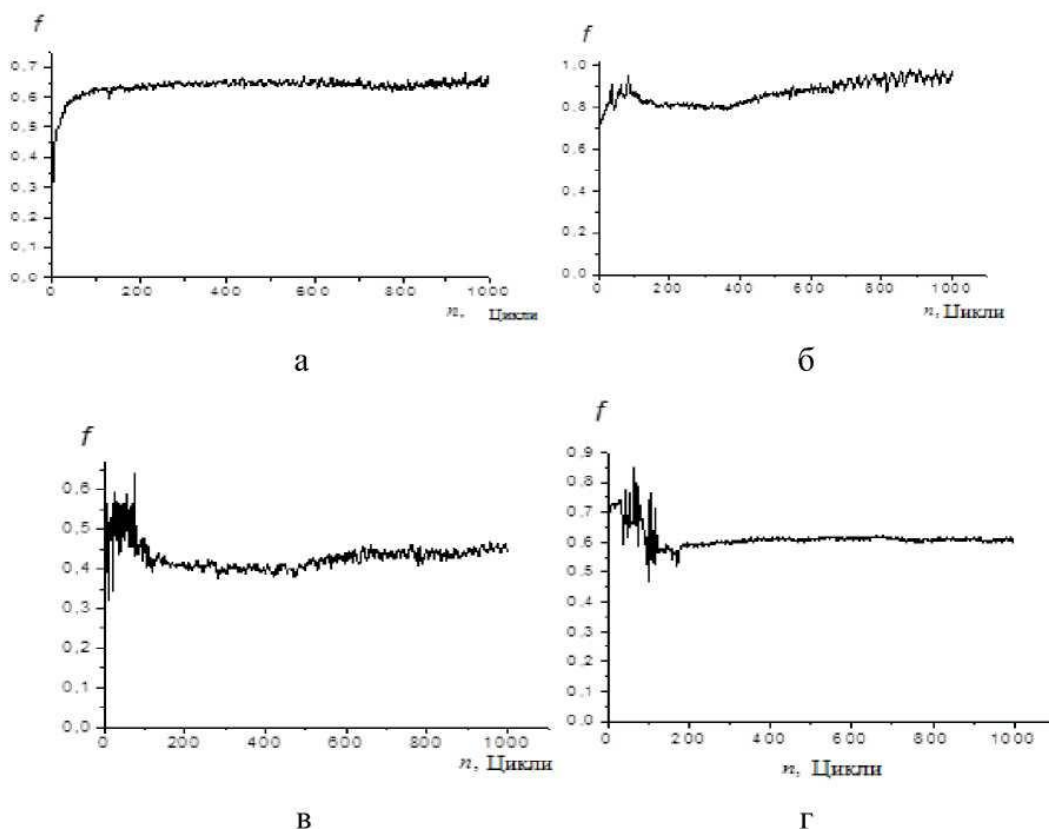
Найменш зносостійким є покриття з потрійного сплаву №2 з вмістом сурми в електроліті 9,5 г/л. Це покриття має найменшу мікротвердість, високу пластичність. Об'ємний знос покриття №2 перевищує об'ємний знос покриття з подвійного сплаву №1 після 250 циклів в 1,5 рази. Знос покриття №3 з вмістом сурми в електроліті 14,2 г/л спочатку триботехнічного випробувань перевищує знос покриттів з подвійного сплаву, проте інтенсивність зношування покриття №3 знижується, і вже після 250 циклів стирання його об'ємний знос менше об'ємного зносу покриття з подвійного сплаву в 1,3 рази. Для м'яких покриттів із сплавів №

1, № 2, № 3 реалізується адгезійний механізм зношування, спостерігаються процеси захоплення, перенесення матеріалу покриття на контртіло, задирки. Це і призводить до збільшення зношування покриттів.

Для твердих покриттів із сплавів № 4 і № 5 реалізується абразивний механізм зношування. Так як покриття витримують високі контактні тиски, тертя відбувається за малої контактної площі, внаслідок чого об'ємний знос невеликий.

При терті в режимі граничного змащення реєстрували коефіцієнт тертя. Випробування показали, що коефіцієнт тертя твердих покриттів №4 і №5 такою ж, як і для покриття з подвійного сплаву $f = 0,6 - 0,65$.

Найменший коефіцієнт тертя спостерігали для потрійного сплаву з вмістом сурми в електроліті 14,2 г/л $f = 0,45$. Коефіцієнт тертя для сплаву з вмістом сурми в електроліті 9,5 г/л $f = 0,92$.



а - подвійний сплав Pb-Sn;

б - потрійний сплав, Sb = 9,5 г/л в електроліті;

в - потрійний сплав, Sb = 14,2 в електроліті г/л;

р - потрійний сплав, Sb = 18,8 в електроліті г/л;

Рисунок 3.7 - Коефіцієнти тертя сплавів Pb-Sn і Pb-Sn-Sb.

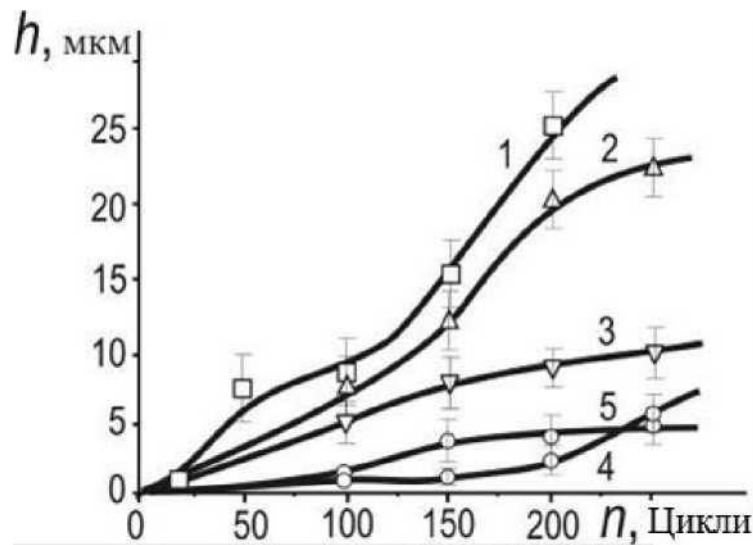
Особливості зношування загартованої сталі в парі тертя з гальванічними покриттями.

В результаті триботехнічних випробувань на мікротрибометрі ММТ в режимі сухого тертя було визначено лінійний знос загартованого сталевого контртіла після кожного числа циклів тертя.

Таблиця 3.4 Результаті триботехнічних випробувань на мікротрибометрі ММТ в режимі сухого тертя

Сплав	Цикли ходів	Діаметр плями зносу d, діл	<d>, діл	d, мкм	Лінійний знос контртіла h, мкм
Сплав № 1 Pb-Sn	20	1,18/1,45	1,32	135,93	0,77
	50	4,02/4,0	4,01	413,99	7,15
	100	4,53/4,0	4,27	440,88	8,11
	150	6,32/5,24	5,78	597,05	14,89
	200	7,48/7,59	7,54	778,05	25,33
Сплав № 2 Sb 9,5 г/л	100	4,79/4,08	4,44	457,92	8,75
	150	5,69/5,23	5,46	563,93	13,28
	200	7,34/6,53	6,94	716,05	21,44
	250	7,63/6,94	7,29	753,01	23,72
	300	8,12/7,44	7,78	790,92	26,01
Сплав № 3 Sb 14,2 г/л	100	3,41/3,24	3,33	344,18	4,94
	150	4,33/3,91	4,12	425,97	7,57
	200	4,63/4,14	4,39	452,93	8,56
	250	5,16/4,17	4,67	482,10	9,7
	300	5,69/4,24	4,96	512,01	10,9
Сплав № 4 Sb 18,8 г/л	100	1,15/1,54	1,35	139,42	0,81
	150	1,54/1,63	1,59	163,94	1,12
	200	1,71/2,8	2,26	232,85	2,26
	250	3,18/3,67	3,43	354,13	5,23
	300	3,67/4,16	3,92	392,04	6,19
Сплав № 5 Sb 23,5 г/л	100	1,92/1,1	1,51	155,68	1,01
	150	2,89/2,71	2,8	288,91	3,48
	200	3,07/2,63	2,85	293,85	3,6
	250	3,41/3,0	3,21	331,05	4,57
	300	3,67/3,17	3,42	342,06	5,1

Було виявлено, що знос сталевого контртіла при терті по покриттях з потрійних сплавів Pb-Sn-Sb знижується зі збільшенням вмісту сурми в електроліті. Найменший лінійний знос сталевого контртіла спостерігається в парі тертя з покриттями №4 і №5. Діаметр плями зношування контртіла при терті з твердим покриттям набагато менше діаметра плями зносу контртіла при терті з м'яким покриттям із сплавів № 1, № 2, № 3.

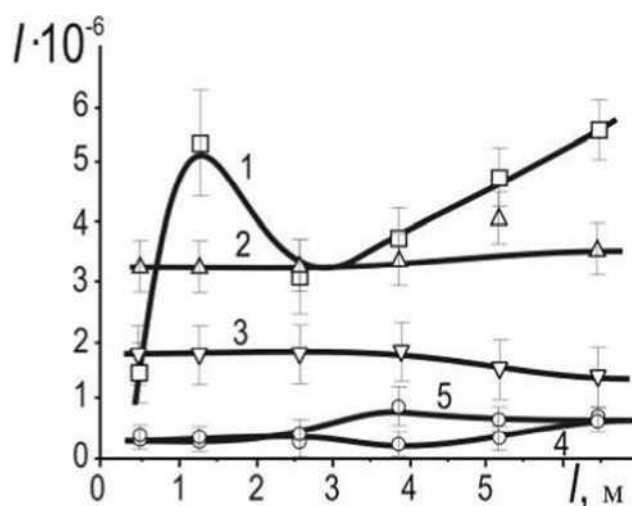


- сплав Pb-Sn;

- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 9,5 г/л в електроліті;
- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 14,2 г/л в електроліті;
- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 18,8 г/л в електроліті;
- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 23,5 г/л в електроліті

Рисунок 3.8 - Графік лінійного зносу сталевого контр тіла.

Найбільший лінійний знос сталевого контртіла спостерігається при терті по покриттю з подвійного сплаву Pb-Sn і перевищує знос сталі з покриттям №4 і №5 при 200 циклах у 7-10 разів. Це пояснюється механізмом зношування пари тертя покриття - сталеве контртіло. При терті сталевій кульки по покриттях з невисокою твердістю Pb-Sn, Pb-Sn-Sb з вмістом сурми в електроліті 9,5 г/л і 14,2 г/л переважає адгезійний механізм зношування.



- 1- сплав Pb-Sn; 2- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 9,5 г/л в електроліті;
 3- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 14,2 г/л в електроліті;
 4- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 18,8 г/л в електроліті;
 5- сплав Pb-Sn-Sb, Sb = 23,5 г/л в електроліті.

Рисунок 3.9 - Графік інтенсивності зношування сталевого контр тіла.

Таблиця 3.4 Інтенсивність зношування сталевого контртіла

L, м	Сплав №1, Pb-Sn	Сплав № 2, Sb 9,5 г/л	Сплав № 3, Sb 14,2 г/л	Сплав № 4, Sb 18,8 г/л	Сплав № 5, Sb 23,5 г/л
0	-	-	-	-	-
0,52	$1,48 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6*}$	$1,84 \cdot 10^{-6*}$	$3,51 \cdot 10^{-7}$	$3,88 \cdot 10^{-7*}$
1,3	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$3,33 \cdot 10^{-6*}$	$1,86 \cdot 10^{-6*}$	$3,36 \cdot 10^{-7}$	$3,88 \cdot 10^{-7*}$
2,6	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$3,37 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$3,12 \cdot 10^{-7}$	$3,88 \cdot 10^{-7}$
3,9	$3,82 \cdot 10^{-6}$	$3,41 \cdot 10^{-6}$	$1,94 \cdot 10^{-6}$	$2,87 \cdot 10^{-7}$	$8,92 \cdot 10^{-7}$
5,2	$4,87 \cdot 10^{-6}$	$4,12 \cdot 10^{-6}$	$1,65 \cdot 10^{-6}$	$4,35 \cdot 10^{-7*}$	$6,92 \cdot 10^{-7}$
6,5	$5,73 \cdot 10^{-6*}$	$3,65 \cdot 10^{-6}$	$1,49 \cdot 10^{-6}$	$8,05 \cdot 10^{-7*}$	$7,03 \cdot 10^{-7}$

- - значення отримано екстраполяцією.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою цього розділу є розробка заходів з охорони праці при плазмово-порошковому наплавленні шнеків екструдера, проектування безпечного та надійного устаткування і технологічного процесу, що дасть можливість забезпечити нормальні умови праці, усунути небезпеку травматизму, професійні захворювання, пожежі, вибухи, аварії на об'єкті, що проектується.

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Основними шкідливими та небезпечними факторами при наплавленні є:

Хімічні фактори – підвищений рівень зварювального аерозолю і газів у повітрі робочої зони і в зоні дихання наплавника.

Фізичні фактори – підвищена яскравість світла; підвищений рівень ультрафіолетового випромінювання; підвищений рівень інфрачервоного випромінювання; підвищена температура поверхні обладнання, матеріалів; підвищена або знижена температура, відносна вологість та швидкість руху повітря на робочому місці наплавника; підвищений рівень шуму на робочому місці; недостатня освітленість робочої зони; небезпечний рівень напруги в електричному ланцюгу, замикання якого може відбутися через тіло людини; іскри, бризки і викиди розплавленого металу; системи, що знаходяться під тиском: більшим від атмосферного; рухомі машини та механізми; рухомі елементи виробничого обладнання; пересувні вироби, заготовки, матеріали; конструкції, що руйнуються; підвищений вміст позитивно та негативно заряджених іонів.

Психофізіологічні фактори – фізичне перевантаження: статична перенапруга; динамічна перенапруга; нервово-психічне перевантаження: напруження зорових аналізаторів; нервово-емоційне напруження.

При плазмовому наплавленні порошком ПН-АН34 на зварника можуть діяти такі шкідливі і небезпечні фактори:

- шкідливі аерозолі;
- ультрафіолетове , видиме та інфрачервоне випромінювання;
- шум
- електричний струм;
- рухомі механізми;
- системи, які знаходяться під тиском, вищому від атмосферного.

При наплавленні в зону дихання зварника та інших робітників можуть потрапляти зварювальні аерозолі, а також токсичні гази. Кількість і склад зварювальних аерозолів, їх токсичність залежать від складу наплавних матеріалів.

Інтенсивність випромінювання дуги в оптичному діапазоні (ультрафіолетове, видиме інфрачервоне) і його спектр залежать від потужності дуги. При відсутності захисту можливі ураження органів зору та опіки шкіряних покривів.

Джерелами шуму при наплавочних роботах є:

- трансформатор;
- вентилятор, вмонтований в випрямляч;
- механізми переміщення і т.д.

Неправильне експлуатування електрообладнання або його несправність приводять до ураження електричним струмом. Застосування в промисловості автоматів зменшує обсяг ручної праці та поліпшує її умови. Автомати знижують травматизм на підприємствах. Проте під час їх роботи можливий вплив на працюючих фізично-небезпечних виробничих факторів: рухомих пристроїв, пересувного матеріалу (виробів, заготовок, інструменту). Рухомі машини, механізми і вироби, при відсутності захисних пристроїв, можуть привести до травмування робітників. Для захисту від рухомих частин обладнання місця установки зазначеного обладнання необхідно огорожувати. Особлива небезпека виникає, коли існує можливість захоплення одягу чи волосся працюючого рухомими частинами обладнання. Також небезпечними є затискувачі пристрої.

Мікроклімат

Суттєвий вплив на організм працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях Системи вентиляції повинні забезпечувати в складально-зварювальних цехах (температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря), а також вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Такі цехи характеризуються незначним (менш 20 ккал/м³·год.) питомим надлишком тепла, яке впливає на зміну температури повітря. Цехи повинні бути забезпечені водяним обігріванням.

Мікроклімат у виробничому приміщенні в холодний період року не відповідає санітарним нормам, тому потрібно поліпшити умови праці за рахунок організації припливної вентиляції з калорифером.

Шкідливі речовини

Незалежно від кліматичних умов у робочій зоні виробничого приміщення вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати ГДК.

Основним шкідливим фактором (ГОСТ12.1.005-88) при наплавленні є: забруднення повітря зварювальними аерозолями. При зварюванні нагріті до високої температури і тому більш легкі, ніж оточуюче повітря пари металів і компоненти зварювального матеріалу піднімаються над місцем зварювання і потрапляють в зону температур одного порядку з оточуючим повітрям, тому швидко конденсуються і твердіють (утворюється тверда складова зварювального аерозолю). Більшість частинок зварювального аерозолю (приблизно 90%) мають розмір менш 5мкм. При наплавленні в зону дихання працюючих можуть потрапляти зварювальні аерозолі, які містять у складі твердої складової оксиди різноманітних металів, основні з них (марганець), а також токсичні гази (озон, оксид вуглецю, оксиди азоту).

Марганець у зварювальному аерозолі утворюється при плазмовому наплавленні сталей вміщуючи марганець чи при виконанні цих робіт дротами, до складу яких входить марганець.

Потрапляючи в організм людини через органи дихання чи травлення, оксиди марганцю викликають хронічні, а при високих концентраціях і гострі отруєння. Вони уражають центральну нервову систему, викликаючи в ній важкі органічні зміни. Крім того, зміни виникають в легенях, печінці. Характерні ознаки отруєння: головний біль, запаморочення, печія, болі в кінцівках. Гранично припустима концентрація марганцю і його сполук у перерахуванні на оксид марганцю в робочій зоні виробничого приміщення не повинна перевищувати 0,2 мг /м³ повітря, при концентрації 10 мг /м³ уже можливі гострі отруєння.

Оксид вуглецю – газ, що зустрічається всюди, де є умови не повного згоряння речовин, що містять вуглець. Систематичне перебування людини в зоні підвищених концентрацій може обумовити отруєння. Характерні ознаки отруєння – головний біль, біль у скронях, запаморочення, блювота, утрата свідомості.

Озон – газ, що утворюється в місцях електричних розрядів під дією ультрафіолетових променів при плазмовому наплавленні в середовищі захисних інертних газів.

Гранично припустима концентрація не повинна перевищувати 0,1 мг /м³ повітря. Перевищення припустимої концентрації впливає на органи дихання.

Найбільш характерні ознаки отруєння: сухість у роті, загрудні болі, кашель, печіння в шлунку. Токсичність озону сильно підвищується при наявності в повітрі оксидів азоту: їх спільна дія на організм у багато разів сильніша, ніж окремо.

Повітря в робочій зоні не перевищує допустиму граничну концентрацію і умови праці відповідають II-му класу.

Шум

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.36.037-99. В ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням .

Джерелами шуму при наплавлювальних роботах є:

- трансформатор;

- вентилятор, вмонтований в випрямляч;
- механізми переміщення.

Оскільки рівень звуку при роботі обладнання при допустимому значенні 80 дБ, становить 75 дБ (виробничий шум не перевищує встановлених норм), тому відпадає необхідність проведення заходів для зниження шуму, за часовою характеристикою шум є постійним та широкополосним.

Електробезпека

Широке використання в промисловості електричної енергії зобов'язує приділити увагу профілактиці електротравматизму. Неправильне експлуатування електрообладнання або його несправність приводить до ураження електричним струмом. При протіканні електричного струму через тіло людини може виникнути небезпека ураження його окремих органів або організму в цілому. Основними видами ураження є: опік електричною дугою; так званий удар при доторканні до струмоведучих частин; розрив тканин та ін.

Велику небезпеку мають також місцеві підвищення температури на ділянках низько провідних електричних ланцюгів і спалахів, котрі можуть викликати пожежу або вибух.

Все устаткування для нанесення покриттів працює з напругою 220 чи 380 В. Тому небезпека завжди актуальна і виникає при торканні людиною незахищених струмоведучих частин трансформаторів, випрямлячів, електропроводів і іншого устаткування під напругою.

Все електроустаткування повинне відповідати ПУЕ-2017 "Вироби електротехнічні. Вимоги безпеки". Також виникає небезпека і при торканні частин устаткування, що не знаходиться під напругою, але випадково у результаті порушення чи ушкодження ізоляції знаходиться під ним. Опір ізоляції окремої ділянки мережі не менш ніж 0,5 МОм.

Для захисту від ураження електричним струмом корпус наплавлювальної

установки необхідно заземляти. Послідовне включення в заземлюючий провідник декілька апаратів заборонена.

Окремі елементи зварювального ланцюга, відрізки зварювальних кабелів при нарощуванні потрібно з'єднувати роз'ємними з'єднувальними муфтами.

Струмоведачі кабелі зварювального ланцюга повинні бути ізолювані по всій довжині і захищені від механічних пошкоджень. Забороняється залишати на робочому місці зварювальний інструмент, який знаходиться під напругою.

Приєднання і від'єднання від мережі плазмових установок, пере ввімкнення зварювального струму, рукоятками, розміщеними всередині установки, що не має блокування, а також спостереження за налагодженим станом установок в процесі експлуатування повинно проводитись електротехнічним персоналом. Персонал, що обслуговує плазмові установки, повинен періодично проходити інструктаж, щодо безпеки при користуванні електричним струмом і методів надання першої допомоги.

Освітлення приміщення

Природне освітлення:

На нашому місці природне освітлення – однобічне бокове.

Вікна виходять на захід.

Установка розміщена на відстані 2-х метрів від вікна.

Штучне освітлення:

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень у темний період доби. Від того, наскільки кваліфіковано воно спроектовано залежить безпека праці та самопочуття працівників, продуктивність їх праці та якість продукції. Відомо, що раціонально виконане штучне освітлення приміщень при одній і тій же витраті електроенергії підвищує продуктивність праці на 15- 20%. Разом з тим неправильно вибране та недостатнє освітлення робочих місць може бути причиною функціональних зорових порушень у працівників.

Загальне освітлення (незалежно від системи освітлення) повинно відповідати встановленим нормам стосовно нерівномірності освітлення в зоні розміщення робочих місць. Відповідно до вимог відношення максимальної освітленості до мінімальної допускається не більше: для робіт I - III розрядів при люмінесцентних лампах – 1,5 , при інших джерелах світла – 2; для робіт IV-VII розрядів – відповідно 1,8 та 3. Підрозряд роботи зору – б (фон середній, контраст об'єкта з фоном – малий); Штучне освітлення здійснюється лампами освітлення люмінесцентного типу ЛД-40.

Технічні характеристики люмінесцентної лампи ЛД-40 наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики люмінесцентної лампи ЛД-40

Потужність,Вт	Напруга мережі на лампі, В	Номинальний світловий потік, лм.	Колірна температура, К
40	220	2340	4000

Середній потік лампи нестабільний в світловому потоці тому приймаємо світловий потік рівний 2100 лм.

Визначимо кількість ламп на ділянці. Світильнику типу ЛП 002-4×40/II-02 з чотирма лампами ЛД-40, кожна знаходиться на висоті 3,5 метра над робочою поверхнею. Коефіцієнт запасу 1,8. Побілка в приміщенні ділянки світла ($\rho_{\text{ст}}=70\%$, $\rho_{\text{стіни}}=50\%$, $\rho_{\text{підл}}=10\%$).

Табличне значення відповідає освітленості 100 лк, нормована освітленість становить 300 лк.

Метод світлового потоку. Основне розрахункове рівняння методу світлового потоку, за яким можна визначити світловий потік лампи світильника, має такий вигляд:

З метою оптимізації виробничого освітлення передбачають:

- обмеження прямої блискучості за рахунок добору світильників;
- очищення світильників, вікон від забруднень один раз на 3 місяці;

- фарбування стін титановими або цинковими білилами з високим коефіцієнтом відбивання для видимого світла за низьким коефіцієнтом для ультрафіолетових променів.

4.2 Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці

На робочих місцях необхідно забезпечити достатній рівень природного й штучного освітлення. При наплавці для зварників – операторів і підручних існує загроза ураження електричним струмом, одержання опіків від випромінювання зварювальної ванни та інше.

Міри електробезпеки на ділянках і окремих робочих місцях при зварюванні в інертних газах й наплавленні повинні відповідати загальноприйнятим для зварювального виробництва машинобудівних заводів вимогам.

Необхідно також приймати додаткові заходи, враховуючи безпеку ураження рідким металом.

В зоні наплавки в навколишнє середовище виділяються шкідливі гази, аерозоль, променева енергія, тому гігієні праці при використанні зварних процесів необхідно приділяти належну увагу.

Це є основні завдання, які ми повинні вирішити при застосуванні зазначеної технології.

Горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням видимих осліплюючі-яскравих світлових променів і невидимих для ока так званих ультрафіолетових та інфрачервоних променів. Інтенсивність променистої енергії в основному залежить від зварювального струму і величини напруги.

Потужне ультрафіолетове випромінювання спостерігається при зварюванні в середовищі захисного газу.

Видимі світові промені осліплюють, оскільки яскравість їх перевищує фізіологічно допустиму норму. Короткі ультрафіолетові промені навіть при короткочасній дії можуть викликати електрофтальмію. Інфрачервоні промені головним чином здійснюють тепловий ефект, їх інтенсивність залежить від

потужності дуги.

Інтенсивність випромінення зварювальної дуги в оптичному діапазоні і його спектр залежать крім потужності також від використаних матеріалів і захисного газу. При відсутності захисту можливі поразки органів зору (катаракта) і опіки шкіряних покривів.

Для захисту від випромінення дуги і зниження контрасту між дугою та оточуючими предметами інтер'єру приміщень, обладнання цехів і ділянок плазових методів наплавлення необхідно фарбувати у світлі кольори (сірий, жовтий, голубий) з дифузійним відбиванням світла, з використанням цинкових і титанових білил і жовтого крону для поглинання ультрафіолетового випромінення. Місця виконання наплавлювальних робіт відкритою дугою слід огорожувати негорючими ширмами та щитами.

Незахищені ділянки тіла захищаються спеціальною робочим одягом, обличчя захищається щитком або шоломом, кінцівки рук - рукавицями, а очі – спеціальним склом-світлофільтром, вставленим в щиток або шолом.

В масках або шоломах між темним і прозорим склом повинен бути проміжок 0,5-1мм, щоб захищати очі від перегрівання.

Наплавлення може бути причиною травмування робітників, при цьому можуть мати місце пошкодження очей, опік тіла, поранень.

Для захисту тіла від опіків використовується спеціальний одяг та взуття.

Одяг та рукавиці повинні бути справними. Одяг потрібно одягати з напуском брюк на взуття щоб не залишилось незахищених частин тіла.

Робітники повинні використовувати засоби індивідуального захисту:

- спецодяг (ТУ17-98-69-77);
- спеціальні рукавиці типу Тр;
- ручні або наголовні щитки з світлофільтрами С8;
- спеціальне взуття.

Для захисту людей не пов'язаних з наплавленням, робоче місце повинно бути огороженим екранами і ширмами висотою не менш 1,6 мм. Підлеглі зварника, які знаходяться недалеко від місця наплавлення або працюючих в

недостатньо огорожених місцях зварювання, повинні використовувати відкидні маски і спецодяг. Підлога в приміщенні, де проводяться роботи, повинна бути виконана із негорючих матеріалів. Об'єм промислового приміщення на одного робітника не менш 15 м³, а площа не менш 4,5 м², виключаючи площу яку займає обладнання і проходи. Промислові приміщення, де виконуються складально – зварювальні роботи повинні відповідати вимогам, а також санітарним правилам № 1009-73.

4.3 Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання

1. Для обслуговуючого персоналу, а також для всіх робітників, пов'язаних з експлуатуванням випрямляча, обов'язковим є дотримання правил технічного експлуатування електроустановок, вимог безпеки при експлуатуванні електроустановок.

2. Допуск до експлуатування випрямляча дозволений людям відповідної кваліфікації.

3. Напруга в мережі є небезпечною, тому :

- корпус випрямляча надійно заземленим. Для цієї мети випрямляч обладнаний болтом заземлення із знаком „Земля”, розміщеним на задній стінці випрямляча.

- один із вихідних зажимів випрямляча, до якого під'єднується провід, що іде до виробу (зворотній провід), і зварювальний стіл також надійно заземлені.

4. Забороняється робота випрямляча без кожуха, з відкритими боковими стінками і переміщення випрямляча без відключення його від мережі.

Вентиляція

Складально-зварювальні цехи і дільниці потрібно забезпечувати місцевою і загально обмінною (припливною) вентиляцією. Приток повітря в холодний період року (зимній і перехідний) обов'язково механічним з підігрівом зовнішнього повітря, повністю компенсуючи об'єм видаленого повітря. Для цього

використовується вентилятор Ц470 №3.2 з електродвигуном серії А02 потужністю 1,5 кВт, та калорифер КФС №6. В теплий період року потрібно забезпечити природне постачання зовнішнього не забрудненого вентиляційними і технологічними викидами повітря через віконні пройоми.

Найбільш ефективним засобом для зниження концентрації забруднень у робочій зоні робітника є місцеві відсмоктувачі, які мають в порівнянні з витяжною загальною обмінною вентиляцією такі переваги: а) локалізують шкідливі речовини безпосередньо в зоні їх виникнення, та запобігають розповсюдженню їх по всьому об'єму промислового приміщення; б) завдяки близькому розміщенню до джерела шкідливих виділень місцеві відсмоктувачі можуть видаляти їх за допомогою мінімальних об'ємів повітря, що має велику економічну перевагу в порівнянні з загальною обмінною вентиляцією.

Специфічною складністю устрою місцевих відсмоктувачів при наплавленні є необхідність створення певної швидкості повітря в зоні зварювальної дуги, ефективне видалення в процесі наплавлення шкідливих речовин що утворюються, не порушуючи газовий захист дуги (забезпечуючи одночасно високу якість зварного шва). В зв'язку з цим до місцевої вентиляції при зварюванні в середовищі захисного газу ставиться технологічна вимога щодо обмеження рухливості повітря в зоні дуги: при наплавленні бронзи в середовищі аргону не більше 0,5 м/с. Збільшення витрат захисного газу не рекомендується, оскільки може призвести до роздування шкідливих викидів, а збільшення витрат відсмоктуваного повітря – до зниження якості шва.

При виконанні робіт в умовах цеху на стаціонарно розміщених зварювальних установках для очищення робочого простору від аерозолів, найбільш оптимальним буде застосування місцевої витяжної вентиляції.

Схема вентиляції яка використовувалася показана на рис. 4.1.

Для покращення мікроклімату на робочому місці запропоновано поліпшену схему вентиляції: припливну з калорифером з повітрообміном, що дорівнює об'єму витяжного повітря рис. 4.2.

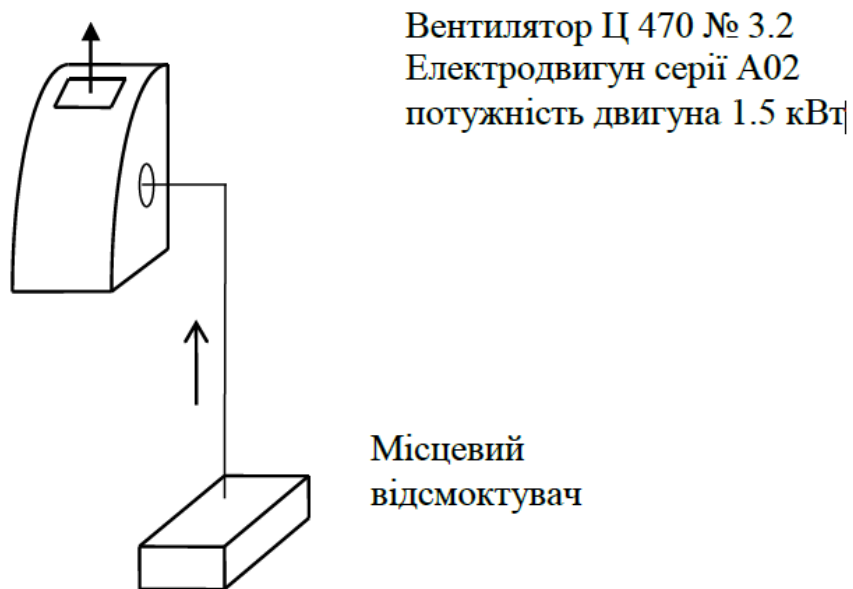


Рис.4.1 - Схема вентиляції яка використовувалася.

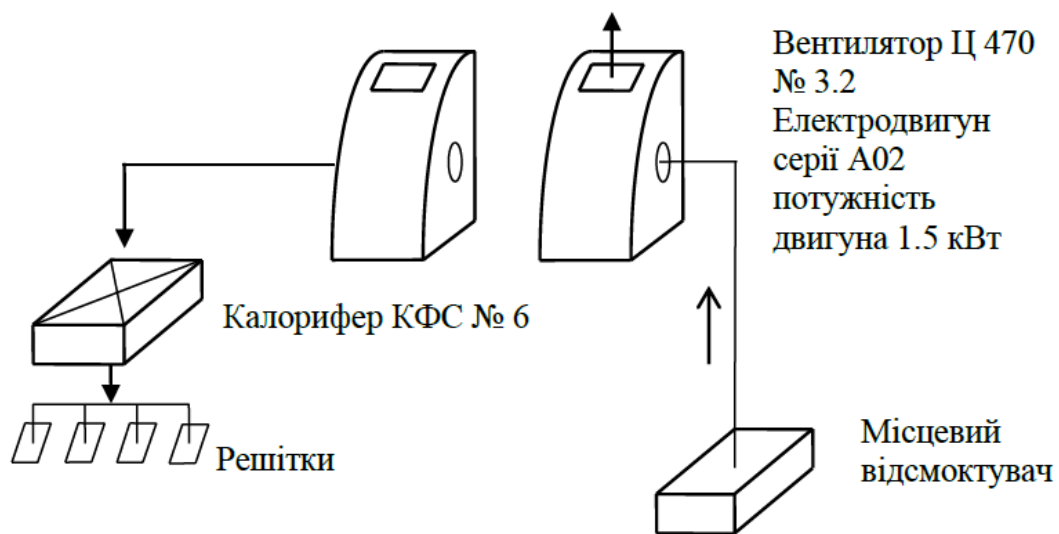


Рис.4.2 Схема вентиляції.

В теплий період року можливо знехтувати притоком, оскільки баланс здійснюється за рахунок використання вікон. При цьому отримуємо сприятливі умови праці.

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОКРИТТЯ Pb-Sn-Sb В ПАРІ ТЕРТЯ «ПІДП'ЯТНИК – ПОХИЛА ШАЙБА» АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА

Застосування гальванічних антифрикційних покриттів Pb-Sn-Sb дозволяє знизити знос підп'ятників в умовах пуску - зупинки насоса, а також в умовах першого запуску насоса без змащення.

Зробимо розрахунок річного економічного ефекту від використання потрібних покриттів Pb-Sn-Sb.

Собівартість нанесення покриття на один комплект підп'ятників

$$C_{\text{п}} = C_{\text{п1}} \cdot m, \quad (5.1)$$

де $C_{\text{п1}}$ – собівартість нанесення покриття на один підп'ятник, $C_{\text{п1}} = 10$ грн.;

m – кількість підп'ятників в комплекті, $m = 7$ шт.

$$C_{\text{п}} = 10 \cdot 7 = 70$$

Економічний ефект від використання покриття з одного насоса

$$E_{\text{п}} = V_{\text{м}} \cdot \text{Ц}_{\text{м}} - C_{\text{п}}, \quad (5.2)$$

де $V_{\text{м}}$ – економія олії в умовах першого запуску насоса без змащення,

$$V_{\text{м}} = 1,25 \text{ дм}^3;$$

$\text{Ц}_{\text{м}}$ – вартість 1 дм^3 оливи ВМГЗ, $\text{Ц}_{\text{м}} = 29$ грн.

$$E_{\text{п}} = 1,25 \cdot 29 + 70 = 106,25 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від використання потрібних покриттів Pb- Sn-Sb

$$E_{\text{прічне}} = n \cdot E_{\text{п}} \quad (5.3)$$

де n – обсяг річної виробничої програми випуску аксіально-поршневих насосів, $n = 3000$ насосів.

$$E_{\text{прічне}} = 3000 \cdot 106,25 = 318750 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ

1 На підставі огляду даних проведених раніше триботехнічного випробувань потрійних сплавів Pb-Sn-Sb з вмістом Sb в електроліті від 9,4 до 23,4 г/л зроблено висновок про те, що на триботехнічні та механічні властивості робить істотний вплив вміст Sb в сплаві. При цьому оптимальна концентрація сурми в електроліті дорівнює 14,2 г/л. Масова інтенсивність зношування ($I_m = 3,82 \cdot 10^{-6}$ г/м) покриттів, нанесених при імпульсному струмі, на порядок менше ($I_m = 1,49 \cdot 10^{-6}$ г/м) інтенсивності зношування покриттів, нанесених при постійному струмі. Встановлено також, що знос контртіла – вала із загартованої сталі, що перебуває в сполученні з досліджуваними покриттями, що також нижче у парі тертя з покриттям, нанесеним при використанні імпульсного струму.

2 Відпрацьована методика триботехнічних випробувань за схемою куля - площина в режимі сухого і граничного тертя, дозволяє визначити коефіцієнт тертя покриттів, знос покриттів і сталевого контртіла, а також аналізувати зміну морфології поверхні тертя до і після випробувань методами профілометрії.

3 В результаті триботехнічних випробувань при терті без мастила було виявлено, що зі збільшенням вмісту сурми в сплаві зменшується об'ємний знос покриттів. Для сплавів із вмістом сурми 18, 1 і 27,1 % його величина становить $3,12 \cdot 10^{-4}$ мм³ і $2,73 \cdot 10^{-4}$ мм³ відповідно і менше об'ємного зносу базового покриття в 43 рази. Таке зменшення об'ємного зносу пов'язано із збільшенням твердості покриттів, зниженням пластичності, і, як наслідок, зменшенням фактичної площі контакту і ролі адгезивного механізму зношування при сухому і граничному терті. Інтенсивність зношування сталевого контртіла в парі тертя з покриттями таких складів у 7 – 10 разів менше його зносостійкості при терті в парі з базовим двокомпонентним покриттям і становить $8,05 \cdot 10^{-7}$ і $7,03 \cdot 10^{-7}$ відповідно з вмістом сурми 18,1 і 27,1 мас. %.

4 В результаті дослідження мікроструктури вихідних покриттів з різним процентним вмістом сурми, а також їх поверхонь тертя методами РЕМ і металографічного травлення встановлено, що при нанесенні покриття формується гомогенна структура. При терті без мастила в структурі покриттів відбуваються

суттєві зміни. Мають місце процеси вторинної кристалізації пов'язані з локальним нагріванням на плямах фактичної площі контакту вище температури фазових переходів і структуроутворенням при охолодженні. При цьому виділяються характерні для цього процесу фази Pb, α (Sn), β (SnSb), γ (Sb).

5 Досліджувані покриття пройшли стендові випробування в якості антифрикційних шарів у парі тертя «підп'ятник – похила шайба» в аксіально-поршневому насосі. Результати експерименту показали, що нанесення цих покриттів на робочу поверхню підп'ятника дозволяє продовжити ресурс роботи насоса, а також знизити його знос в умовах пуску – зупинки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зносостійкість сплавів, відновлення і зміцнення деталей машин / Під загальною ред. В.С. Попова .- Вид. ВАТ Мотор Січ .- Запоріжжя, 2006 .- 420С.
2. Астахов Є. А., Артемчук В. В. Особливості застосування газотермічного нанесення відновлювальних покриттів / Восточно- Европейский журнал передовых технологий. № 3/5 (57) 2012. С.4-10.
3. Сігова В.І., Руденко П.В. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с.
4. Гуляев А.П. Термическая обработка стали. М.: Маш- гиз, 1960.
5. Бережний С.П., Бриков Н.Н., Бриков М.Н., Биковський О.Г. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин, 2006. – 421 с.
6. Лобанов С. А. Практичні поради гальваніки. - Л.: Машинобудування, 1983. - 248 с., іл.
7. Захаров А. М. Промислові сплави кольорових металів. Фазовий склад та структурний склад. К.: Металургія, 1980. 324 с.
8. Клименко Ст. Л., Горбатюк Ст. А., Стеценко Е. Р. . - 2-е изд., перероб. і доп. - К.: Транспорт, 1978. - 304с.
9. Геллер Ю. А., Рахштадт А. Р. Матеріалознавство. Методи аналізу, лабораторні роботи та завдання. Навч. посібник для вузів. - 6-е изд., перероб. і доп. - К.: Металургія, 1989. 456 с.
10. Вплив токового режиму на триботехнічні параметри покриттів з потрійного сплаву Pb-Sn-Sb. Матеріали, технології та обладнання у виробництві, експлуатації, ремонті і модернізації машин: зб. наук. праць VI міжнародної науково-технічної конференції: Т. 1, - Новополицьк: УО ПГУ,
11. Технологія та устаткування зварювання плавленням і термічного різання: Підручник для вузів .- 2-е вид. Испр. і доп. / А. І. Акулов, В. П. Альохін, С. І. Єрмаков та ін / Під ред. А.І. Акулова .- К.: Машинобудування, 2003.-560с.
12. Мельников П. С. Довідник по гальванопокрытиям в машинобудуванні. 2-е изд., перероб. і доп. К: Машинобудування, 1991. 384 с., іл.

13. Відновлення деталей машин електрохімічним способом. Кишинів, Штіінца, 1984.
14. Антропов Л. В., Лебединський Ю. Н. Композиційні електрохімічні покриття і матеріали. - К: Техніка, 1986. - 200 с., іл.
15. Основи матеріалознавства: Підручник для технікумів. Лахтін Ю. М. - К.: Металургія, 1988. - 320 с.
16. Козаків Ст. А., Шлугер М. А. Зносостійкі і антифрикційні гальванічні покриття в машинобудуванні. - Л.: Машинобудування, 1981. - 212 с.
17. А. П. Гуляєв Металознавство, 5-е перероблене видання. К.: Металургія, 1978. - 646 с.
18. А. В. Самохоцкий, М. Н. Кунявский Металознавство, 6-е перероблене видання. К.: Металургія, 1999. - 546 с.

