

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12. - МКР. 189 «С» 2021.02.01. 017 ПЗ

СУЩУК ОЛЕКСІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

2021 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет (НИ) Механіко-технологічний

УДК 62.242-043.96

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Декан факультету Завідувач кафедри

Механіко-технологічний

Надійності техніки

(назва факультету) Братішко В.В. (назва кафедри) Новицький А.В.
“ ” (підпис) (ПІБ) “ ” (підпис) (ПІБ)
2021 р. 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Технологія відновлення поршневих пальців двигунів внутрішнього згоряння гальваногазовим хромуванням»
Спеціальність 208 – «Агроінженерія»
(код і назва)

Освітня програма «Оптимізація параметрів, процесів і режимів роботи техніки АПК»
(назва)
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми
Д.Т.Н., доцент Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент Банний О.О.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав: Сушук О.О.
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ - 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ)

Механіко-технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

К.Т.Н., доцент

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ”

2020 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Сушук Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

208 – «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Оптимізація параметрів, процесів і режимів роботи

техніки АПК»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: «Технологія відновлення поршневих пальців двигунів
внутрішнього згоряння гальваногазофазним хромуванням»

затверджена наказом ректора НУБІП України від 01 лютого 2021р. № 189 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2021.10.15

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Поршневі пальці двигуна Д-240, 245. В ролі
дослідженої деталі обрй поршневий палець з нанесенням зносостійких
покриттів, для збільшення ресурсу й довговічності ДВЗ.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Виконати аналіз зносу поршневого пальця двигуна Д-240 трактора МТЗ-80.
2. Визначити параметричні залежності експлуатаційних показників в залежності
від режимів технологічного процесу відновлення.
3. Розробити математичну модель процесу відновлення і визначити оптимальні
технологічні режими.

Дата видачі завдання “15” жовтня 2020 року

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Банний О.О.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання Суцук О.О. (прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1. Конструкція і види конструкційних матеріалів, що застосовуються при виготовленні поршневих пальців.....	10
1.2. Класифікації видів зносу.....	12
1.3. Способи відновлення ПП.....	16
1.4. Можливість підвищення характеристик міцності двошарових гальваногазофазних хромових покриттів.....	18
1.5. Цілі і задачі досліджень.....	18
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1. Програма експериментальних досліджень.....	20
2.2. Електролітичне хромування.....	20
2.2.1. Устаткування і технологічне оснащення гальванічної дільниці.....	20
2.2.2. Вихід хрому за струмом і швидкість осадження електролітичних покриттів.....	21
2.2.3. Фізико-механічні властивості електролітичного хрому, отриманого в стандартних електролітах.....	22
2.2.4. Регресійне моделювання та оптимізація процесу хромування.....	23
2.3. Нанесення хромового покриття з газової фази через карбоніл хрому на гальванічні покриття.....	28
2.3.1. Апаратне забезпечення процесу газофазного хромування.....	28
2.3.2. Вибір і розрахунок системи нагріву зразків і деталей в установці.....	34
2.4. Фізико-механічні властивості двошарових гальваногазофазних покриттів.....	43
2.4.1. Вивчення елементного і фазового складу за допомогою рентгенодіагностики.....	43
2.4.2. Визначення мікротвердості покриття.....	44

2.4.3. Визначення морфології і внутрішньої структури покриттів.....	46
2.4.4. Визначення адгезійної властивості покриття з основою.....	47
2.4.4.1. Визначення адгезійної міцності при випробуванні па стиснення.....	47
2.4.4.2. Визначення адгезійної міцності методом акустичної емісії.....	48
2.4.5. Визначення залишкових напружень покриттів.....	49
2.4.6. Визначення зносостійкості покриття.....	50
2.4.6.1. Лабораторні випробування.....	50
2.4.6.2. Стендові випробування.....	51
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОЛІТИЧНЕ ХРОМУВАННЯ.....	53
3.1. Вихід хрому по струму і швидкість осадження при електричному хромуванні.....	53
3.2. Фізико-механічні властивості електролітичного хромування.....	57
3.3. Мікроструктура електролітичного хрому.....	60
3.4 Висновки.....	60
РОЗДІЛ 4. ГАЗОФАЗНЕ ХРОМУВАННЯ.....	62
4.1. Теоретичне обґрунтування процесу. Визначення кінематичних параметрів деталі при газофазному хромуванні.....	62
4.2 Особливості процесу газофазного хромування.....	66
4.2.1. Фізичне осадження покриттів.....	68
4.2.2. Кінетичні закономірності формування газофазних хромових покриттів.....	69
4.3. Фізико-механічні властивості двошарового гальваногазофазного покриття.....	73
4.3.1. Мікро твердість комбінованого покриття.....	73
4.3.2. Дослідження мікроструктури, хімічного і фазового складу.....	74
4.3.2.1. Мікроструктура гальваногазофазного покриття.....	74
4.3.3. Дослідження зчіплювання гальваногазофазного покриття.....	75
4.3.4. Дослідження залишкових напружень в гальваногазофазних хромових покриттях.....	79
4.4. Висновки.....	82

РОЗДІЛ 5. ЛАБОРАТОРНІ ТА СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦЯ	84
5.1. Лабораторні випробування	84
5.2. Стенові випробування	86

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦЯ	87
6.1 Розрахунок вартості основних виробничих фондів	87
6.2. Розрахунок собівартості розбирання двигуна	88

6.2.1. Визначення річної оптової ціни	90
---------------------------------------	----

6.3. Прибуток підприємства	91
----------------------------	----

6.4. Рентабельність підприємства	91
----------------------------------	----

6.5. Коефіцієнт фондівдачі	91
----------------------------	----

6.6. Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого	92
---	----

6.7 Випуск продукції на 1м ² площі	92
---	----

6.8 Визначаємо величину річної економії	92
---	----

6.9 Річний економічний ефект	92
------------------------------	----

6.10. Окупність капіталовкладень	93
----------------------------------	----

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	96
-------------------	----

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
----------------------------	----

ДОДАТКИ	109
---------	-----

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НУБІП України

ПІП – поршневий палець;

МОЗ – метал-обмежене з'єднання

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

КШМ – кривошипно-шатунний механізм;

НУБІП України

ГБЦ – головка блока циліндрів

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Ремонт сільськогосподарської техніки пов'язаний зі значними витратами матеріальних, трудових і грошових коштів. Заводи тракторного і сільськогосподарського машинобудування майже 40% металу витрачають на виготовлення запасних частин, які в основному визначають собівартість ремонту машин.

Найважливіший резерв збалансованого, економічно виправданого і повного забезпечення запасними частинами, зниження собівартості і збільшення ресурсу відремонтованих машин – підвищення якості відновлених деталей, застосування сучасних способів відновлення, ресурсозберігаючих і зміцнюючих технологій.

У номенклатуру відновлюваних деталей входять і поршневі пальці, технології чеський виконання яких вимагає особливо точного обладнання, оснащення, контрольного і вимірювального інструменту. При цьому ресурс цих деталей невеликий і тому 30-40% їх кількості щорічно відновлюються. Тому пошук нових і інтенсифікація наявних технологічних процесів отримання зносостійких покриттів для відновлення зношених деталей кривошипно-поршневої групи, поліпшення фізико - механічних властивостей цих покриттів є завданням вельми актуальною.

Актуальність теми: До останнього часу поршневі пальці відновлювали електролітичним хромуванням. Незважаючи на всі позитивні сторони електролітичного хромування, цей процес має ряд недоліків: стандартні електроліти не забезпечують постійної концентрації компонентів, що призводить до неоднорідності покриття і недостатньою адгезією.

Особливе місце в ряду технологічних процесів, які в даний час мало вивчені і абсолютно не апробовані в практиці відновлення зношених деталей машин, в тому числі і поршневих пальців, займають хромові покриття, отримані з газової фази через карбоніл хром а. Відмінною особливістю цих покриттів являється висока технологічність і продуктивність, екологічна безпека, автоматизація процесу. Однак, осадження газофазного хрому на підкладні з різних матеріалів, в тому числі і на леговані сталі не забезпечують необхідну адгезію покриття.

Осадження газофазного хрому на гальванічний хром представляє інтерес як з

теоретичної, так і з практичної сторони. Таким чином, проблема адгезії можливо буде вирішена за умови нанесення газофазного хрому на гальванічний хром з додаванням аміаку.

Метою роботи є підвищення довговічності поршневих пальців, відновлених гальваногазофазним хромуванням: гальванічним – для відновлення зношених розмірів і газофазним з легуванням аміаком – для підвищення зносостійкості покриття.

Об'єкт досліджень. Технологія відновлення та зміцнення поверхонь поршневого пальця двигунів внутрішнього згорання гальваногазофазним хромуванням.

Предмет досліджень. Зносостійкість поршневих пальців в процесі роботи ДВЗ в різних режимах. Процес зносостійкості відновлених поршневих пальців гальваногазофазним хромуванням.

Наукова новизна. Встановлено теоретичні та підтверджені експериментально залежності вихідних факторів технологічного процесу нанесення покриття із застосуванням гальваногазофазного хромування при ремонті поршневих пальців ДВЗ. Проведено дослідження по корозійної і механічної стійкості сучасних гальванічних покриттів внаслідок яких було встановлено, що розглянуті в роботі технології значно підвищують зносостійкість поршневих пальців. Експериментально проведена і доведена адекватність розробленої математичної моделі технологічного процесу нанесення покриттів матеріалами, що визначає якість процесу, технологічну собівартість.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Конструкція і види конструкційних матеріалів, що застосовуються при виготовленні поршневих пальців

Однією з відповідальних деталей шатунно-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння являють собою поршневі пальці (ПП).

ПП забезпечує шарнірне з'єднання шатуна з поршнем в кривошипно-шатуні механізмі.

ПП представляє із себе гладкий циліндричний стрижень. Для зменшення маси виробляють пустотілим (рисунок 1.1).

Палець здійснює разом з поршнем зворотньо-поступальний рух, а також зворотньо-поступальний рух навколо своєї осі – всі ці рухи створюють несприятливі умови для мащення, в результаті чого тертя носить граничний характер, що призводить до підвищення зносу ПП.

Вимоги до конструкції ПП в основному зводяться до забезпечення:

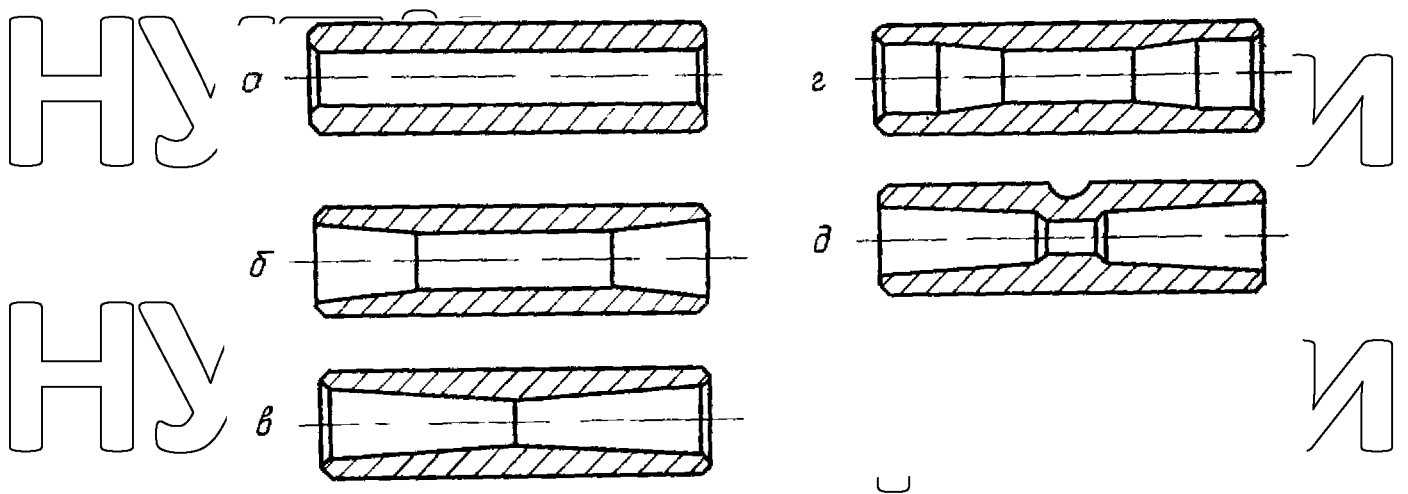
високої міцності при мінімальній масі;

високої стійкості зовнішньої поверхні до зношування.

ПП виготовляють з вуглецевої або легованої цементованої сталі. У стаціонарних, корабельних і тепловозних двигунах застосовують вуглецеві сталі 15 і 20. в швидкохідних автомобільних, тракторних та форсованих двигунах частіше леговані сталі 15ХМ, 38ХА, 12ХНЗА, 18Х2Н4МА та інші (таблиця 1.1). Поверхню пальців цементують на глибину 0,5 - 1,5 мм з наступним загартуванням і відпуском до HRC 55-65; використовується і азотування поверхні. При виготовленні пальця з вуглецевої сталі 45 поверхня пальця загартовується струмом високої частоти на глибину 1-1,5 мм. Цей спосіб термічної обробки має більш низьку вартість, ніж цементация, дозволяє підвищити якість деталей і знизити бракування [4, 23].

Твердість цементованої поверхні поршневих пальців HRC 60... 62.

ПП обробляються з допуском на зовнішній діаметр по 5 б квалітету точності – iT_5 , iT_6 . Робоча поверхня пальця полірується і доводиться до шорсткості $Ra 0,16$ мкм [4-6, 23].



а, б – циліндричні; в, г, д – наближуються до форми, яка забезпечує рівномірний знос при згині.

Рисунок 1.1 – Поршневі пальці

При виготовленні двигунів внутрішнього згорання приймають три способи встановлення ПП [1, 23]: закріплення в бобишках поршня; закріплення у верхній головці шатуна і плаваюче закріплення (рисунок 1.2).

Перший спосіб встановлення (рисунок 1.2, а) – плаваючий палець – дає можливість провертання пальця під час роботи як в бобишках так і в верхній головці шатуна. Внаслідок чого зменшується відносна швидкість ковзання, що призводить до рівномірного зносу ПП.

Таблиця 1.1 Марки сталей, що застосовуються для виготовлення поршневих пальців [3]

Марки двигунів	Марки сталей
MeM3 – 968 – 968 Б – 968 Г	Сталь 15 X
A3ЛК – 412Е – 412 Ю – 412 ДЗ – 412 ДЮ	Сталь 12 ХН
ЗМЗ – 53 і модифікації ЗМЗ – 66-24Д 24.01	Сталь 45
ЗЛЛ – 130 ЗЛЛ – 157 Д ЯМЗ – 236 – 238	Сталь 15 X Сталь 12ХН3А

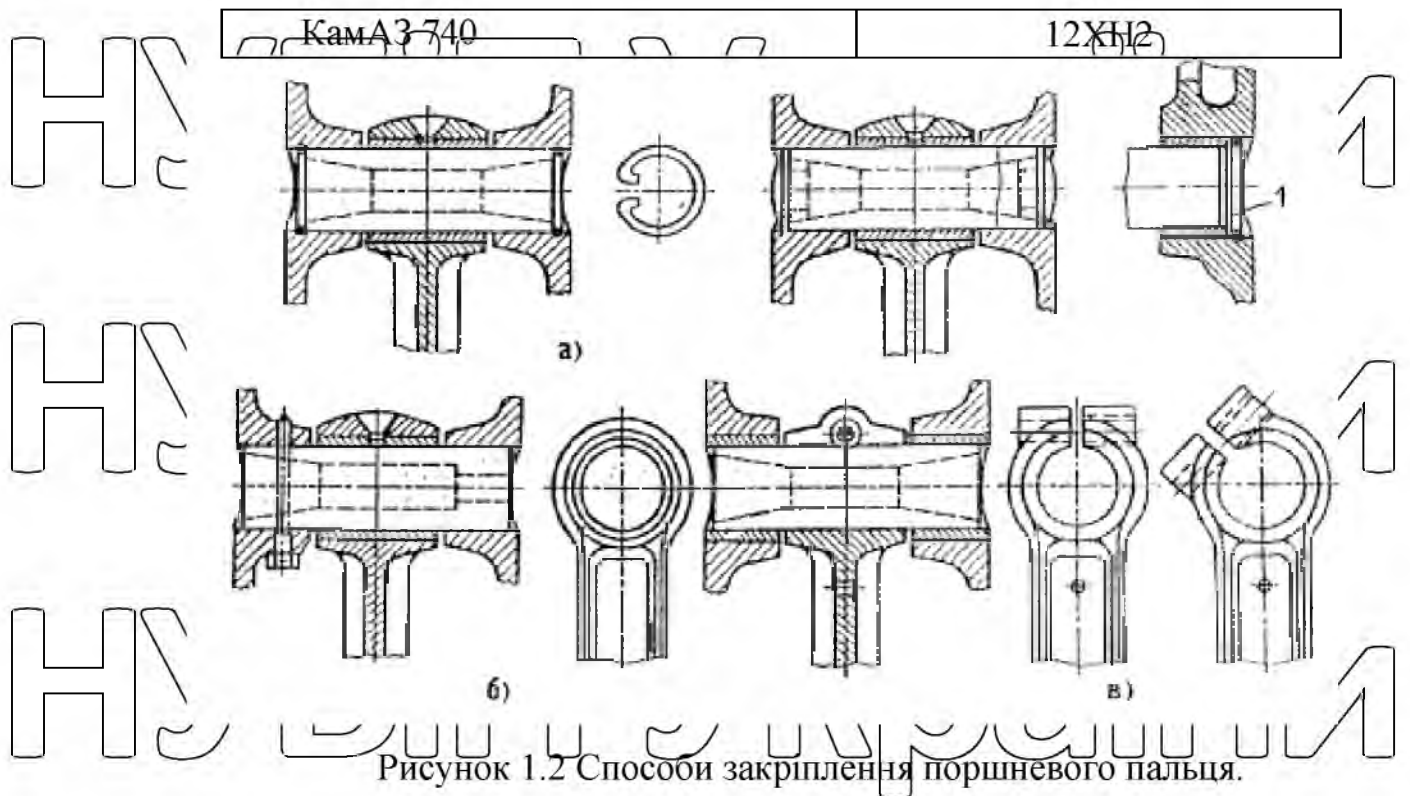


Рисунок 1.2 Способи закріплення поршневого пальця.

При другому способі встановлення обидва кінці ПП (або один) зафіксований в поршні (рисунок 1.2, б). Але цей спосіб застосовують дуже рідко в стаціонарних, корабельних і тепловозних двигунах і дуже рідко в тракторних.

Третій спосіб – ПП закріплений в головці шатуна (рисунок 1.2, в). Таку установку застосовують в деяких конструкціях автомобільних і тракторних двигунів, але дуже рідко, тому що наявний стопорний болт з різьбою знижує надійність конструкції.

Для збереження пальця від осьового переміщення застосовують пружинні замки або заглушки. Пружинні замки виготовляють зазвичай у вигляді кілець з дроту круглого сечення або листової сталі. А при фіксації пальця заглушками з алюмінієвого або магнієвого сплаву (дуже рідко бронзи) досягається підвищення радіальної жорсткості пальця і покращується відвід тепла.

1.2. Класифікації видів зносу

Класифікація видів зношування запропоновані багатьма радянськими вченими: А.К. Зайцевим, В.А. Кисликом, Б.І. Костяцьким, І.В. Крагельським, Е.М. Швецовою, М.М. Хрущовим та ін.

Знос деталей машин визначаються умовами роботи і характеризуються величиною питомого тиску, що виникає в наслідок циклічних навантажень, режимом мащення і ступенем її стабільності, швидкістю переміщення поверхонь тертя (для сполучених пар), температурним режимом роботи деталей, навколишнім середовищем і ступеню його агресивності, характером напруженого стану поверхонь тертя і т.д.

По класифікації Б.І. Костецького в залежності від умов роботи деталі тракторів, автомобіля і сільськогосподарських машин з врахуванням відповідного їм ведучого виду зносу можна розбити на п'ять груп [13].

Перша група включає деталі з переважним абразивним зносом поверхонь. Сюди відносяться деталі ходової частини гусеничних тракторів (пальці, втулки, опорні ролики, осі, зрочки, ланки, траки та ін.), а також багато деталей сільськогосподарських машин (леміші, відвали, колеса, втулки і осі, лапи культиваторів, диски борін, робочі органи сівалок, сегменти, ножі комбайна і ін.).

Друга група складається з деталей, для яких основним є механічне зношування (головним чином зминання). Сюди входять деталі з шліцьовими робочими поверхнями (зубчасті муфти, навантажені зуби шестерень та інші).

Третя група включає деталі, для яких характерне хімічно-механічне зношування. Це шльзи циліндрів, головки блоків, поршни, поршневі кільця, клапани, штовхачі, розподільні вали, робочі органи тукових сівалок і т.д.

Четверта група характеризує деталі, що руйнуються в основному від втомленості металу. До них відноситься шатуни, пружини, ресори, болти шатунів, кулькові і роликові підшипники та ін.

П'ята група охоплює більшу кількість деталей, що працюють в умовах втомного руйнування і одночасно піддаються механічному або хіміко-механічному зношування. Деталі цієї групи - колінчаті вали, поршневі пальці, вкладиші підшипників, окремо важко на навантажені шестерні коробок передач, бортових передач і ін.

Залежно від умов мащення розрізняють наступні види тертя: чисте, сухе, граничне, напівсухе, напіврідинне і рідинне [7, 12].

В результаті виходить, що знос виникає внаслідок одночасного протікання наступних процесів: диспергуванням (подрібнення), пластичної деформації (змінання), адгезія абразивної дії; втомленого руйнування; хімічних, електрохімічних і теплових явищ [14].

Зношуванню в результаті диспергування, піддаються поршневі пальці (рисунок 1.3). Цементований і загартований поршковий палець, тривало попрацював на двигуні, знос не виходив за границі допуску, поверхня гладка, без задирів, відсутні сліди переносу металу з спряженими поверхнями. По даним металографічного аналізу, пластично деформований лише тонкий поверхневий шар. Під мікроскопом помітні риски у напрямку руху, як результат взаємодії на ділянках контакту спряжених поверхонь.



Рисунок 1.3 Поршковий палець двигуна внутрішнього згорання, зношений внаслідок диспергування

Мікрорельєф робочих поверхонь поршневого пальця і спряжених з ним деталей також утворюється відповідно до умов тертя.

На рисунку 1.4 показаний рельєф поверхні поршневого пальця двигуна ІМД в області переходу від непрацюючої поверхні (під отворами бокових поршнів) до поверхні, що зношується (під верхньою головкою шатуна).

У цій області робоча поверхня покрита рисками і за зовнішнім виглядом мікрорельєф її нагадує мікрорельєф поверхні, що утворюється в процесі шліфування. Наявність рисок на поверхні підтверджує, що в цій області тертя відбувається в напівсухій фазі і має місце металевий контакт поверхонь тертя.

На рисунку 1.5 показана поверхня поршневого пальця, що зношується. Поверхня гладка, покрита випадковими окремими рисками шириною менше 1 мкм, що утворилися, очевидно, в результаті попадання вільних абразивних частинок між поверхнями тертя.

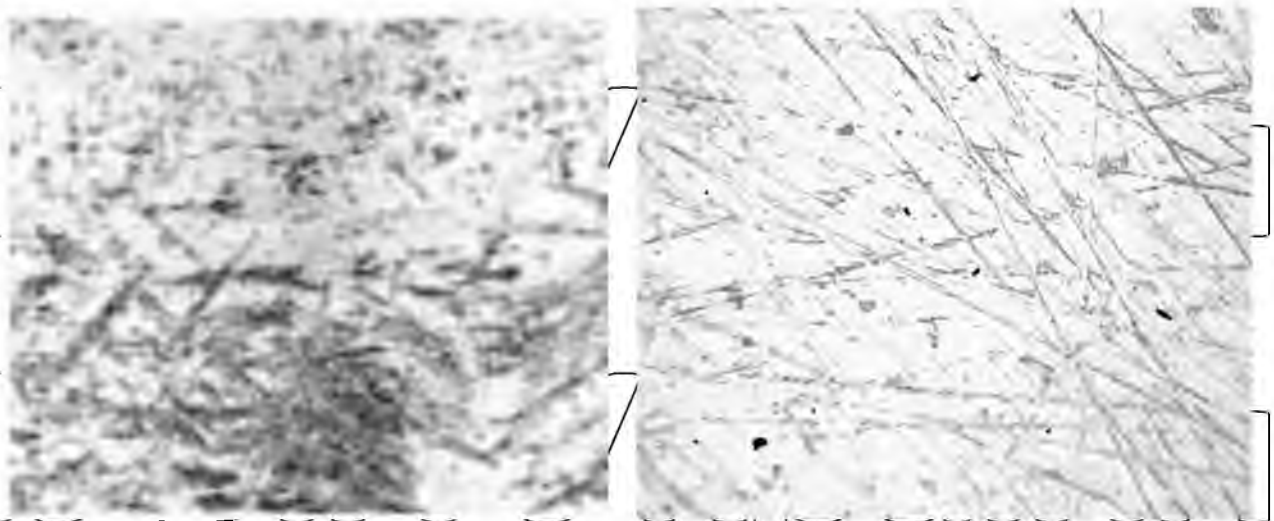


Рисунок 1.4 – Мікрорельєф поверхні поршневого пальця двигуна в місці пальця, що зношується (X 383)

переходу від не працюючої поверхні до поверхні, яка зношується (X 383)

В процесі припрацювання спряжених деталей, змінюються умови тертя, напівсухе тертя переходить в граничне, при цьому знижується коефіцієнт тертя до деякого мінімуму, обумовленого товщиною масляної плівки, шорсткості поверхонь тертя, тиском, сумарною температурою (середовища і тертя) і швидкості ковзання від 0 до 2,0 м/с. При граничному мащенні зі збільшенням навантаження коефіцієнт тертя прагне до деякого постійного значення. Це пояснюється тим, що в міру зростання навантаження плівка стає тоншою. Тонкі шари мастила володіють великим опором щодо зрушення, а збільшення сили тертя проходить повільніше, ніж зростає навантаження. При тонких плівках незначна зміна температури мало впливає на зміну коефіцієнта тертя. І ця тертя.

Крім того, ріст фактичної площі контакту відбувається повільніше, ніж зростає навантаження. При граничному мащенні коефіцієнт тертя досягає найменшого значення.

1.3. Способи відновлення ПП

У зв'язку зі зростаючим обсягом випуску двигунів внутрішнього згорання проблема відновлення ПП актуальна. Щорічно відновлюється більше 8-10 млн. штук ПП [96] (рисунок 1.6).

У ремонтній практиці широко використовуються такі методи відновлення ПП: перешліфовка на менший діаметр, роздача пуансоном, обкатка і гальванічні покриття залізненням і хромуванням [18].

Якщо ПП вибраковано тільки по зносу зовнішньої поверхні, то вони можуть бути перешліфовані на менший діаметр.

Але для цього повинна бути збережена посадка ПП в отворі верхньої головки шатуну і в отворах бобишок поршня. У шатун можна поставити втулку з відповідним зменшеним діаметром внутрішнього отвору і взяти поршні також зі зменшеними отворами в бобишках, відповідно зменшеному діаметру пальця.

Шліфування проводять на верстаті без центрального шліфування. Якщо немає даного обладнання можна шліфування проводити на круглошліфувальні верстати зі спеціальною оправкою. Але для цього необхідно попередньо пошліфувати фаски внутрішнього отвору, які служать базою при закріпленні пальця на оправці.

Одним з високопродуктивних способів відновлення є роздача пуансоном, який використовується для відновлення тільки порожніх деталей, таким чином, що через отвір пролазять пуансон більшого діаметра. Але цей спосіб має істотний недолік: утворюються тріщини на зовнішній поверхні пальця.

Тому розроблені і впроваджені у виробництво різні способи роздачі: гідротермічна; механічна, з електрогідралічним ефектом, термопластична і т.д. [24, 25].

Способи відновлення поршневих пальців

Пластичне деформування

Гідротермічна обробка (роздача)

Гальванічні покриття

Хромування з газофазним насиченням

Холодна роздача

Роздача з нагрівом

Залізніння з наступним хромуванням

Хромування

Рисунок 1.6 – Класифікація способів відновлення поршневих пальців

Найприйнятнішим способом відновлення ПП є спосіб електролітичного хромування. Широке застосування цього методу в ремонтній практиці обумовлено цінними якостями електролітичного хрому: високу твердість від 4000 до 12000 МПа, зносостійкість, доброю адгезією з основним металом, високими антифрикційними властивостями, володіє захисно-декоративними властивостями при тришаровому покритті Ca-Ni-Cr [8, 30, 41].

1.4. Можливість підвищення характеристик міцності двошарових гальваногазофазних хромових покриттів

Аналізуючи використання газофазного хромування для відновлення поршневих пальців, необхідно відзначити переваги цього методу: висока швидкість осадження, автоматизація процесу, низька температура осадження та отримання покриття з заданими властивостями, структурою, морфологією.

В даній роботі розглядається комбінований спосіб відновлення поршневих пальців: гальванічне хромування застосовується для відновлення зношеної поверхні, а газофазне для отримання більшої зносостійкості відновленої поверхні. І особливість цього способу в тому, що підкладки та нанесені покриття однорідні. Що дозволяє забезпечувати більш надійну адгезію покриття з основою, і дозволить впровадити цей метод не тільки відновлення, але для виготовлення деталей машин.

1.5. Цілі і задачі досліджень

Підвищення довговічності ПП, відновлених двошаровим покриттям: гальванічним для відновлення зношених розмірів, і газофазним для підвищення зносостійкості покриття.

При виконанні роботи вирішувалися наступні завдання:

1. Визначити оптимальні режими отримання хромових і гальванічних покриттів.
2. Дослідити фізико-механічні властивості двошарових гальваногазофазних хромових покриттів.
3. Дослідити вплив легуючих добавок на фізико-механічні властивості комбінованого покриття.
4. Розробити технологічний процес відновлення поршневих пальців.

5. Визначити економічну ефективність відновлення поршневих пальців
зазначеним методом.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень включає:

1. Вибір обладнання, пристосувань, технологічної оснастки і приладів для проведення експерименту, контролю і виміру параметрів і режимів досліджуваних процесів.
2. Визначення оптимальних режимів ведення процесів гальванічного та газофазного хромування з відпрацюванням цих режимів на зразках з переходом на самі деталі – поршневі пальці.
3. Визначення фізико-механічних властивостей досліджуваних покриттів за основним показником характеристик міцності.
4. Проведення стендових і експлуатаційних випробувань на самих деталях – поршневих пальцях.

2.2. Електролітичне хромування

2.2.1. Устаткування і технологічне оснащення гальванічної дільниці

Електроосадження хрому проводили в ванні, виготовленої з пінопласту розміром 250x250x5. Підігрів здійснювали нагрівальними елементами пристрою типу МРТ-1-6/3, з точністю регулювання температури ± 1 °С. Як джерело живлення використовувався кремнієвий випрямляч ВАКГ-12/6-600 з автоматикою для головного регулювання струму в ваннах від 10 до 100% і підтримка заданої щільності струму з точністю $\pm 10\%$.

Силу струму вимірювали багатопозиційним амперметром типу М-104, з межею вимірювання 0-30 А, клас точності 0,5. Регулювання сили струму проводили реостатом, включеним послідовно до катода.

Зразки поміщали на спеціально виготовлену підвіску, яка дозволяє одночасно встановлювати до 12 зразків. Підвіска обладнана спеціальним приводом, що дозволяє зразкам і деталям робити обертові рухи для рівномірного осадження покриття.

В якості нерозчинного анода використовували олов'яно-сурмяний сплав. При цьому пластині товщиною 5-7 мм надавали форму циліндра для забезпечення кращої площі контакту анода.

У роботі використовували стандартні електроліти, які готували на основі розчину хромової кислоти H_2CrO_4 . Хромовий ангідрид розчиняли в дистильованій воді і хімічним аналізом визначали концентрацію шестивалентного хрому. Для насичення електроліту, його нагрівали до 50-70 °С і ретельно перемішували 10-15 годин. Свіжоприготовлений електроліт опрацьовували постійним струмом протягом 2-3 годин при температурі 50-60 °С і катодної щільності струму 46 А/дм².

Дослідження впливу концентрації хромового ангідриду і солей-катализаторів на вихід хрому по струму проводили в діапазоні концентрацій (г/л):

0,5-29 – для важкорозчинних солей;

100-500 – для хромового ангідриду.

Хромування проводили на зразках, виготовлених зі сталі 45 і 40ХН. Поверхня, призначена для хромування, шліфували. Зразки монтували на підвіску, знежирювали віденської вапном місця, які не підлягають хромуванню, ізолювали текстолітовими шайбами. Хромування виконували на товщину 150 мкм в діапазоні температур 40-70 °С і катодної щільності струму 30-70 А/дм².

2.2.2. Вихід хрому за струмом і швидкість осадження електролітичних покриттів

Вихід хрому за струмом і швидкість осадження визначили ваговим методом.

Розрахунок виконували за формулами:

$$\eta = \frac{\rho \cdot 100}{t \cdot I \cdot 0,324} \quad (2.1)$$

НУБІП України

$$V = \frac{P \cdot 10^4}{\eta \cdot S \cdot \tau} \quad (2.2)$$

де η - вихід хрому по струму, %;

V - швидкість осадження, мкм/год;

НУБІП України

P - вага осадженого металу, г;

τ - час хромування, год.;

I - сила струму, А;

0,324 - електрохімічний еквівалент хрому, г/А·год;

S - площа поверхні зразка, см²;

НУБІП України

γ - питома вага, г/см³.

2.2.3. Фізико-механічні властивості електролітичного хрому,

отриманого в стандартних електролітах

НУБІП України

Мікротвердість визначали на приладі ПИМТ-3 тисненням алмазної піраміди в матеріал покриття з навантаженням на індентор 0,98 Н при п'ятикратній повторності. Вимірювання проводили на зразках, з товщиною покриття, що наноситься 150 мкм, виготовлених зі сталі 45, сталі 40 ХН.

НУБІП України

Для коригування результатів в окремих випадках перевірку даних протоколу випробувань проводили по формулі:

$$H = \frac{2 \cdot P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{a^2} = \frac{1,854 \cdot P}{a^2} \quad (2.3)$$

НУБІП України

де H - мікротвердість, МПа;

P - навантаження на алмазну піраміду;

$\alpha = 136^\circ$ - кут між протилежними гранями піраміди при вершині;

a^2 - середнє арифметичне довжин обох діагоналей відбитки після зняття

НУБІП України

навантаження, мм [57].

Мікроструктуру хромових покриттів вивчали, використовуючи металографічний мікроскоп МММ-7 при збільшенні 500-600 х на поперечних

шліфах. Для виявлення структури зразки травили в 10% розчині їдкого натрію при щільності струму 20 А / дм². Час травлення становило 12 хв.

Міцність зчеплення визначали по втраті ваги при стисненні хромованих зразків при 25% початкової висоти. Зразки виготовляли зі сталі 45 і сталі 40ХН з зовнішнім діаметром 20 + 0,01, внутрішнім – 3 мм, висотою 30 + 0,01. У кожній серії досліджували по 3 зразка. Обтиснення проводили на гідравлічному пресі в спеціальному пристосуванні, що складається з матриці і пуансона. За формулою:

$$P = \frac{\sigma_3 - \sigma_{II}}{\Delta\sigma} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

де P - міцність зчеплення покриття;

σ_3 - вага обжатого зразка, г;

σ_{II} - вага зразка до покриття, г;

$\Delta\sigma$ - вага покриття, г.

2.2.4. Регресійне моделювання та оптимізація процесу хромування

В результаті досліджень осадження гальваногазофазного хромування виявили наступні фактори, що впливають на цей процес:

- температура в реакційній камері;
- температура в сублиматорі;
- подача вакууму;
- тривалість процесу.

Тому в якості оптимізації прийнято якісне покриття, на яке впливають такі чинники:

« T » температура процесу;

« P » тиск вакууму;

« t » тривалість досвіду.

Інтервал варіювання цих факторів впливає на вихід параметрів оптимізації всередині яких передбачається знаходження оптимальних значень факторів.

В результаті експерименту визначилися: температура в реакційній камері від 400 до 420 °С, температура в сублиматор 55-60 °С; тиск подачі вакууму від 2,1/1,8 до 3,1/1,3 ПА: чисельник – тиск до досвіду, знаменник – після досвіду, тривалість досвіду від 10 до 14 хв.

Для оцінки комплексного впливу визначальних факторів на показник оптимізації проводиться багатофакторний експеримент по рототабельному плану Бокса-Бенкіна [64] другого порядку, що дозволяє мінімізувати число дослідів при одночасному варіюванні чинників.

За результатами дослідів при реалізації плану визначались коефіцієнти регресії цільової функції виду:

$$Y = B_0 + \sum B_i X_i + \sum B_{ii} X_i X_j + \sum B_{ij} X_i^2 \quad (2.5)$$

де Y - параметр оптимізації;

B_0, B_i, B_{ij}, B_{ii} - коефіцієнти регресії,

X_i, X_j - фактори оптимізації.

Обраний поліном цільової функції другої ступені є достатнім для практичного опису більшості технологічних процесів [64].

Розрахункові вирази коефіцієнти регресії для планів Боксу-Бенкіна мають вигляд:

$$\begin{aligned} B_0 &= \bar{y}_0 \\ B_i &= A\{iy\} \\ B_{ii} &= B\{i^2y\} + c \sum_{i=1}^n \{j^2y\} + \left(\frac{y_0}{r}\right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$B_{ij} = D\{ijy\}$$

де \bar{y}_0 - середнє значення відгуку в нульових точках;

$\sum_{j=1}^n$ підсумовування для стовпів плану, що відповідають елементам

$j=1$ з i -тим елементом в схемі побудови плану.

A, B, C, D, ρ - числові константи трьох рівневих планів Бокса-Бенкіна, при числі факторів 4, вони відповідно дорівнюють $1/12; 1/8; 1/48; 1/4; 2$ [64].

$$\{iy\} = \sum_{i=1}^N X_{in} \cdot Y_n$$

$$\{i^2y\} = \sum_{i=1}^N X_{in}^2 \cdot Y_n \quad (2.7)$$

$$\{ily\} = \sum_{i=1}^N X_{in} \cdot X_{jn} \cdot Y_n$$

Отримане рівняння регресії виду (2.5) перевірялося на адекватність.

Перевірка гіпотези адекватності моделі другого порядку проводилася за допомогою F-критерія по формулі:

$$F = \frac{SS_{LE}}{S_y^2} \quad (2.8)$$

де SS_{LE} - сума квадратів, що визначає неадекватність результатів експерименту;

S_y^2 - дисперсія помилки досвіду.

$$SS_{LE} = \frac{m \sum_{n=1}^N (\bar{y} - y_n)^2}{N - (K + 1)} \quad (2.9)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^m (y_{in} - \bar{y})^2}{N(m - 1)} \quad (2.10)$$

де m - число повтору одного досвіду (одного рядка матриці плану);

\bar{y} - середнє значення критерія оптимізації;

y_n - розрахункове значення критерія оптимізації;

N – число дослідів;
 K – число факторів;
 y_{in} – значення критерію оптимізації в паралельних дослідях (в i -том ряду).

Для прийняття гіпотези необхідно, щоб розрахункове значення критерію було менше табличного з прийнятим рівнем значущості.
 Значимість коефіцієнтів регресії розраховувалася за критерієм шляхом знаходження довірчого інтервалу для того чи іншого коефіцієнта регресії:

$$\Delta b_i = \pm \frac{tS'}{\sqrt{N}} \quad (2.11)$$

Статистичний аналіз моделей другого порядку для трирівневого плану Бокса-Бензіна проводиться по формулах [64]:

$$S_2\{b_0\} = \frac{2A\lambda n(K+2)Sy^2}{N}$$

$$S_2\{b_i\} = \frac{C^2 S^2 y}{N}$$

$$S_2\{b_{ij}\} = \frac{C^2 Sy}{\lambda n N} \quad (2.12)$$

$$S_2\{b_{ii}\} = \frac{A[(K+1)\lambda n - (K-1)C^2 Sy^2]}{N}$$

$$\lambda n = \frac{1}{(K+2)(N-n_0)}; \quad C_0 = \frac{1}{\lambda n}; \quad A = \frac{1}{2\lambda n[(K+2)\lambda n - K]}$$

Для отримання координат оптимуму і вивчення властивостей поверхні відгуку в околицях оптимуму згідно методики [64] проводилося канонічне перетворення моделі.

Зважаючи на складність перетворень і представлення поверхні відгуку від трьох змінних і більш в просторі використовуються канонічне перетворення рівнянь при фіксації одного і більше факторів в оптимальному значенні.

При канонічному перетворенні здійснювалося перенесення початку координат в нову точку C і поворот старих осей на деякий кут у факторному просторі, в результаті чого зникають лінійні члени і змінюється значення вільного члена щоб здійснити перенесення початку координат в особливу точку поверхні відгуку, функція відгуку диференціювалася по кожній змінній i , прирівнявши до нуля окремі похідні, вирішувалися отримані системи рівнянь.

Підставляючи знайдені значення нового центру (точка C') в старих осях координат в рівняння (2.5), визначали величину критерію оптимізації в точці

$C(X_s)$
Після перенесення центру в точку C осі координат рівняння (3.2) мало вигляд.

$$Y = Y_s + \sum_{ij}^K b_{ij} X_{ij} + \sum_i^K b_{ij} X_i^2 \quad (2.13)$$

Потім в новому початку координат C' осі координат поверталися на кут α до суміщення з головними осями геометричної поверхні.

Кут повороту α визначається по формулі:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{b_{ij}}{b_{ii} - b_{jj}} \quad (2.14)$$

Коефіцієнти рівняння регресії в новій системі координат визначалися при вирішенні характеристичного рівняння:

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{ij} - B & 1/2b_{ij} \\ 1/2b_{ij} & b_{ij} - B \end{vmatrix} \quad (2.15)$$

$$B^2 - (b_{ii} + b_{jj})B + (b_{ii}b_{jj} - 1/4b_{ij}^2) = 0 \quad (2.16)$$

Два кореня характеристичного рівняння є розшукованими значеннями коефіцієнтів рівнянь регресії.

Аналіз поверхонь відгуку проводиться методом двовірних перетинів. Надаючи різні значення критерію оптимізації в канонічному рівнянні, будувалися серії кривих рівного виходу в межах допустимих значень варіювання незалежних змінних. Розгляд всіх можливих перерізів дає

наглядне представлення про значення критерія оптимізації, які він буде приймати при варіюванні і рівнів кожної пари факторів.

2.3. Нанесення хромового покриття з газової фази через карбоніл

хрому на гальванічні покриття

2.3.1. Апаратне забезпечення процесу газофазного хромування

Для нанесення покриттів з газової фази через карбоніл хрому використовували установку хромування моделі 1 МК 608. Установка однокамерна, періодичної дії, оснащена форвакуумним насосом НВР-5Д (рисунок 2.1).

Робочий вакуум $1,7 \times 10^{-1}$ мм рт.ст.

Встановлена потужність 15 кВт.

Живлення трифазне 380х220 В.

Габарити установки 1300 х 925 х 1900 мм.

Маса 800 кг.

Режим напівавтоматичний.

Витрата охолоджуючої води при температурі 15 ± 5 °С - 100,0 л / год.

На установці виконуються наступні операції: створення необхідного ступеня розрідження для десорбції газів з поверхонь деталей і запобігання їх окислення при нагріванні, створення робочого вакууму в реакційній камері, газофазна металізація деталей, при необхідності створення захисної атмосфери інертного газу в процесі осадження, пуск повітря, розгерметизація камери, розвантаження і завантаження деталей.

Конструктивно установка являє собою вакуумну камеру циліндричної форми, змонтовану в вертикальному положенні на станині. Вакуумна камера забезпечена кришкою, знизу встановлено випарник, з'єднаний з камерою. Камера виконана у вигляді зварної конструкції і являє собою порожнистий циліндр. Для вловлювання відкачуваних парів МОЗ є дві пастки. Пастка водоохолодження являє собою сталевий циліндр з трубками, по яким

проходить пара MO_3 . Охолодження здійснюється водою, що омиває труби.

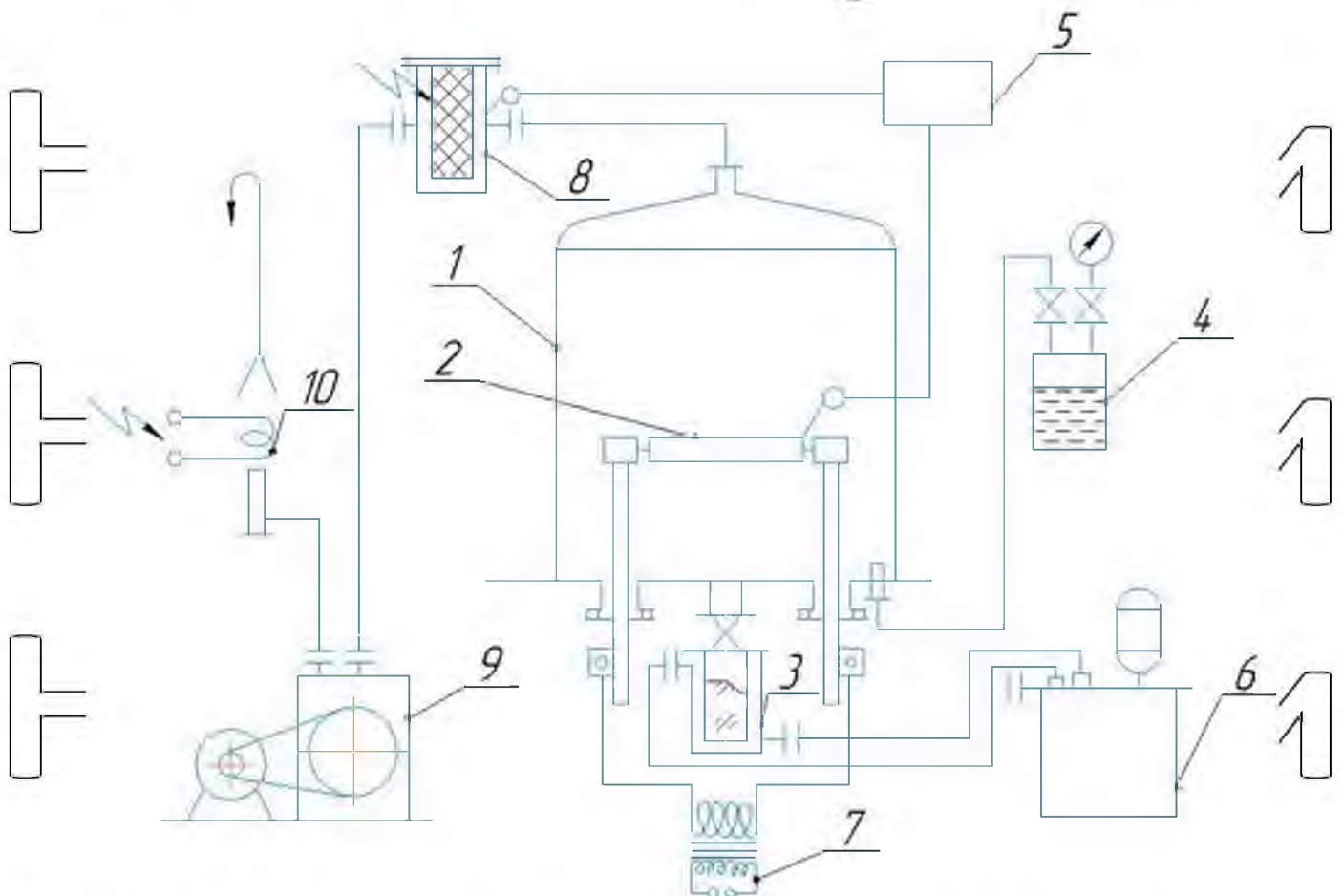
Пастка масляна представляє собою сталевий бачок, занурений на чверть обсягу в оливу. Олива поглинає пари MO_3 і оливи. Вакуумна система являє

собою систему труб, що з'єднуються в певній послідовності насос, вентилі і

пастки з реакційною камерою. У схемі управління передбачено

напівавтоматичний режим. Перед пуском установки включають насос.

Процеси нагрівання і нанесення покриття після створення робочого вакууму відбуваються автоматично.



- 1 - реактор; 2 - підкладка; 3 - субліматор; 4 - манометр; 5 - потенціометр;
6 - термопара; 7 - джерело струму; 8 - піч для розкладання парів карбонілу;
9 - вакуумний насос; 10 - вальник.

Рисунок 2.1 – Установка для газозафазного хромування

Карбонільному способу металізації, як і іншим способам газозафазної технології загальні стадії процесу, пов'язані з випаровуванням вихідного

металовмісного вмісту, його транспортуванням, розкладанням його на поверхні зразка і знищенням відходів.

Як відомо, відмітними властивостями карбонілів металів є їх термічна нестійкість і висока пружність парів при порівняно низьких температурах. Не менш важлива властивість карбонілів металів і продуктів їх терморозпаду – оксиду вуглецю – токсичність. Гранично допустимі концентрації найбільш широко використовуваних карбонілів і СО рівні:

$Ni(CO)_4 - 0,0005 \text{ мг/м}^3$;

$Cr(CO)_6 - 0,01 \text{ мг/м}^3$;

Для нанесення хромового покриття необхідно забезпечення регульованої в широкому інтервалі швидкості сублімації і доставка парів карбоніла в зону металізації. Для цього створюється певна пружність пари, яка дорівнює 37, 92, 217, 482 Па при 30, 40, 50, 60 °С і відповідно 1032, 7834, 14351, 25470, 43943 Па при 70, 100, 110, 120, 130, 140, 150 °С.

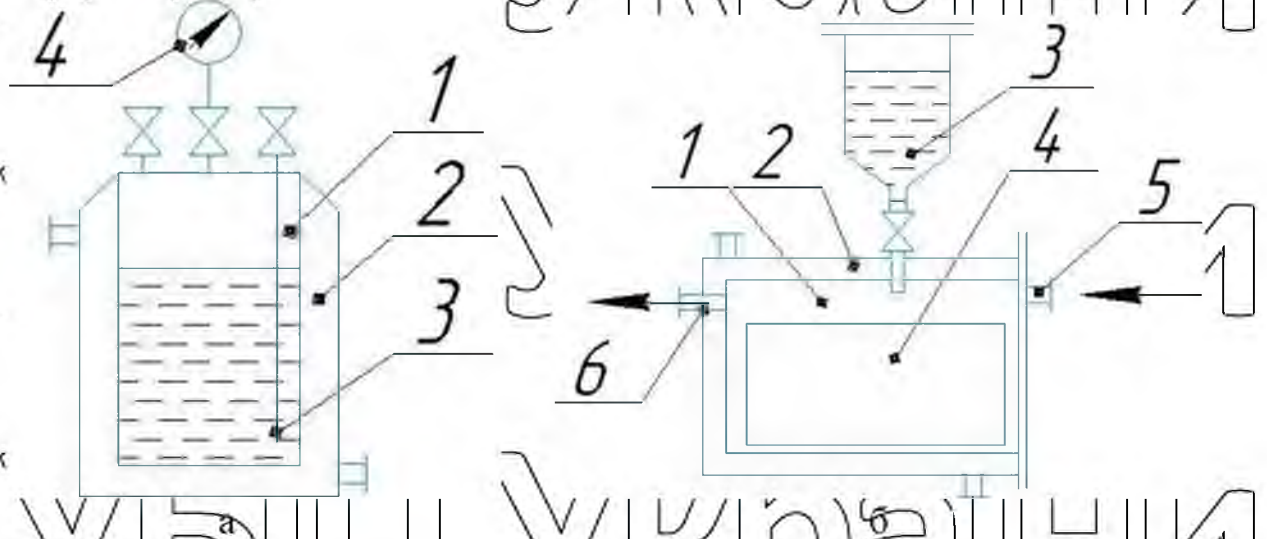
Транспортування та постачання парів карбоніла з субліматора в апарат металізації здійснювалася за допомогою вакууму. Загальною вимогою при транспортуванні пари карбоніла є забезпечення рівної температури лінії підведення та субліматора.

Для визначення швидкості подачі парів карбоніла використовували побічний метод зміни вакууму в системі.

Швидкість подачі парів карбоніла в апарат металізації регулювали температурою нагріву. Коригування параметрів здійснювалася відповідно до приростів зразка після металізації і зменшенням маси карбонілів. Був використаний субліматор для твердих карбонілів (рисунк 2.2, а).

Випарник представляє собою порожню циліндричну ємність з рубашкою для нагрівання. У верхній частині розташовані штуцери для входу несучого газу через сифон і виходу суміші несучого газу з парами карбонілів, а також штуцер для мановакуумметра. Застосування мановакуумметра в цьому випадку пов'язано з тим, що найбільш безпечним методом заповнення цієї ємності токсичними карбонілами є попереднє їх вакуумування і

засмоктання карбонілів з ємності для зберігання. При проведенні процесу металізації у вакуумі регулювання швидкості подачі парів карбонілів з випарника проводилося за допомогою вентиля на відвідній від випарника лінії і контролювали вакуумметром. Конструкція винаровувача зручна при малих витратах карбонілів. При великих витратах карбоніла, розрахованого на проведення однієї операції, наприклад, при металізації порошків з великою питомою поверхнею користувалися випарником, який який зображений на рисунку 2.2, б. Він складається з горизонтально розташованої циліндричної ємності з рубашкою. В середині цієї ємності вставлена ванночка, в яку заливається карбоніл з переносної ємності в кількості, необхідно для однієї операції. У випадку з несучим газом, він надходить через кришку випарника і разом з парами карбоніла виноситься через торцеву стінку. Для металізації зразків у вакуумі була використана конструкція сублиматора, що складається з з'ємної вертикальної циліндричної ємності з рубашкою для кристалічного карбоніла. Ємність з допомогою гвинта піднімається до підігрівального запірного крану (рисунк 2.3) зі зміною температури осадження у вакуумі за рахунок зміни температури підкладки і регулювання швидкості подачі парів карбоніла хотіли домогтися отримання покриття заданого складу, структури і морфології поверхні.

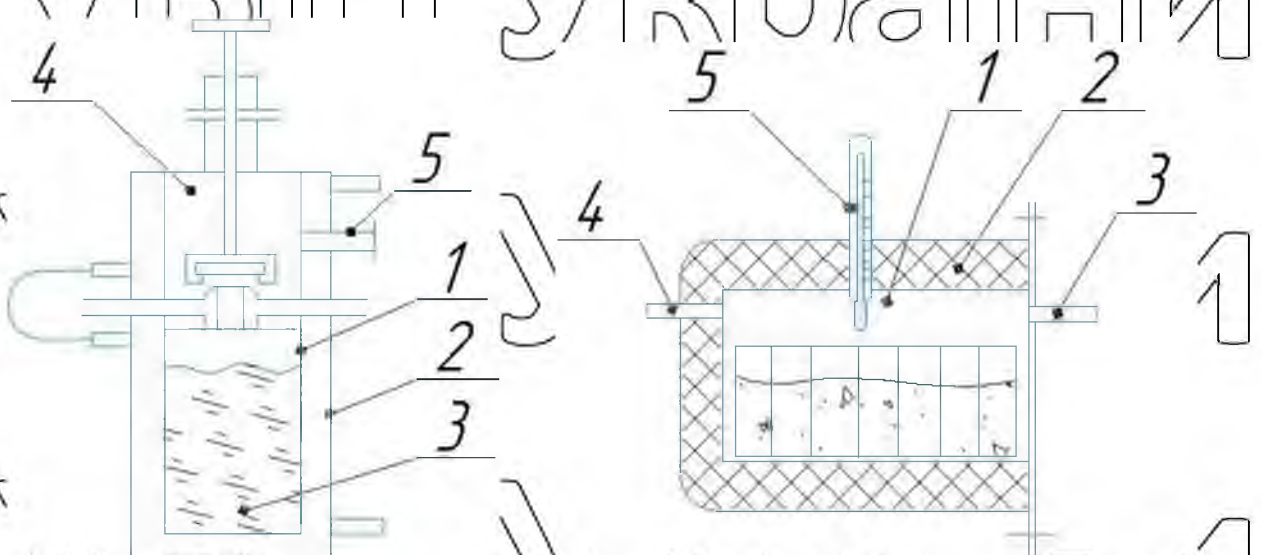


а) вертикальний: 1 - корпус, 2 - рубашка, 3 - сифон, 4 - мановакуумметр;

б) горизонтальний: 1 - корпус, 2 - рубашка, 3 - переносна сміть для карбоніла, 4 - ванночка з карбонілом, 5 - вхід несучого газу, 6 - вихід несучого газу з парами карбоніла.

Рисунок 2.2 Випарник карбоніла

Одна з основних вимог металізації зразків є нанесення рівномірного по товщині шару. Дане завдання вирішувалась в кожному конкретному випадку залежно від форми, розмірів, матеріалу зразків і вимогала свого найбільш раціонального апаратного забезпечення. Для виконання цих умов забезпечували, з одного боку, рівномірність нагріву всієї поверхні зразка, з іншого боку, рівномірність омивання парами карбону нагрітої поверхні.



а) сублиматор для роботи в вакуумі:

1 - корпус; 2 - сорочка; 3 - карбоніл; 4 - обігрівальний вентиль; 5 - вихід парів карбоніла;

б) сублиматор для роботи в потоці газу:

1 - корпус; 2 - електричний обігрівач; 3, 4 - вхід і вихід несучого газу; 5 - термометр.

Рисунок 2.3 Схеми сублиматорів карбоніла

Для цього використовували апарат у вигляді вакуумного ковпака. Нагрів здійснювали прямим пропусканням струму через зразки. Доставка парів карбоніла здійснювалася за допомогою провідних патрубків з розширювачами

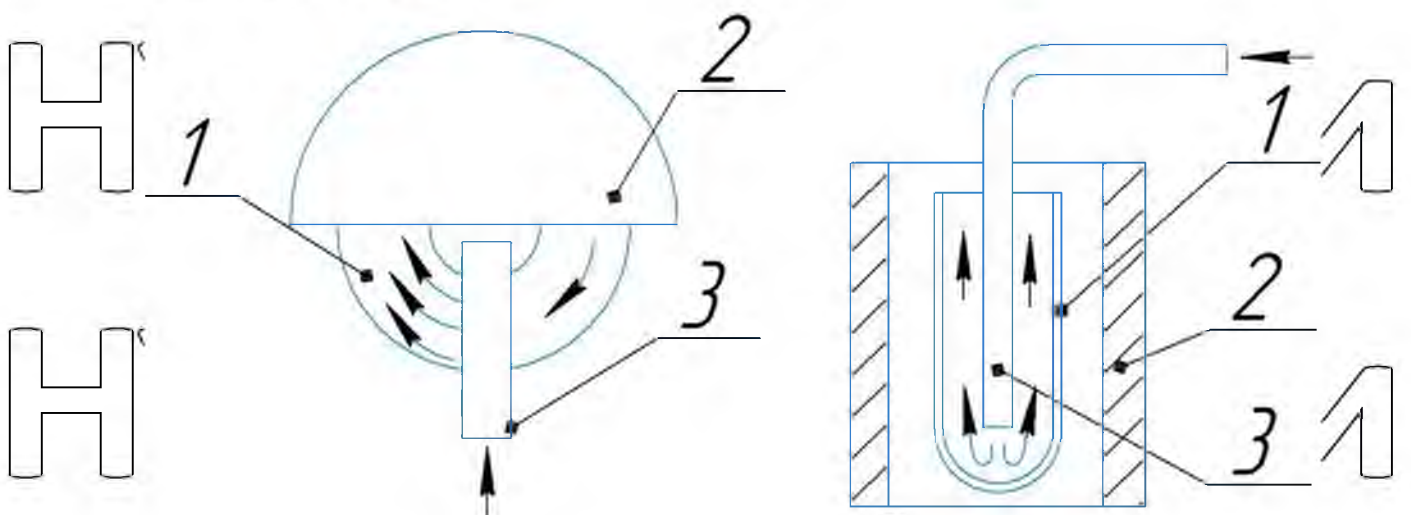
(рисунок 2.4). Пари карбонілів підводилися з низу, а відвід зверху. Це пов'язано з необхідністю виключення або значне зменшення виносу шарів карбоніла через низ апарата, оскільки вони набагато важчі продукту їх терморозпаду – оксид вуглецю.

В процесі термічного розкладання карбоніла виділяється оксид вуглецю – чадний газ, який знищується спалюванням.



Рисунок 2.4 Приклади доставки парів карбоніла

В кінці процесу зупиняється пич (рисунок 2.6), яка представлена у вигляді вертикальної трубки, всередині якої вставлена відкрита електрична спіраль, нагріта до 900 °С.

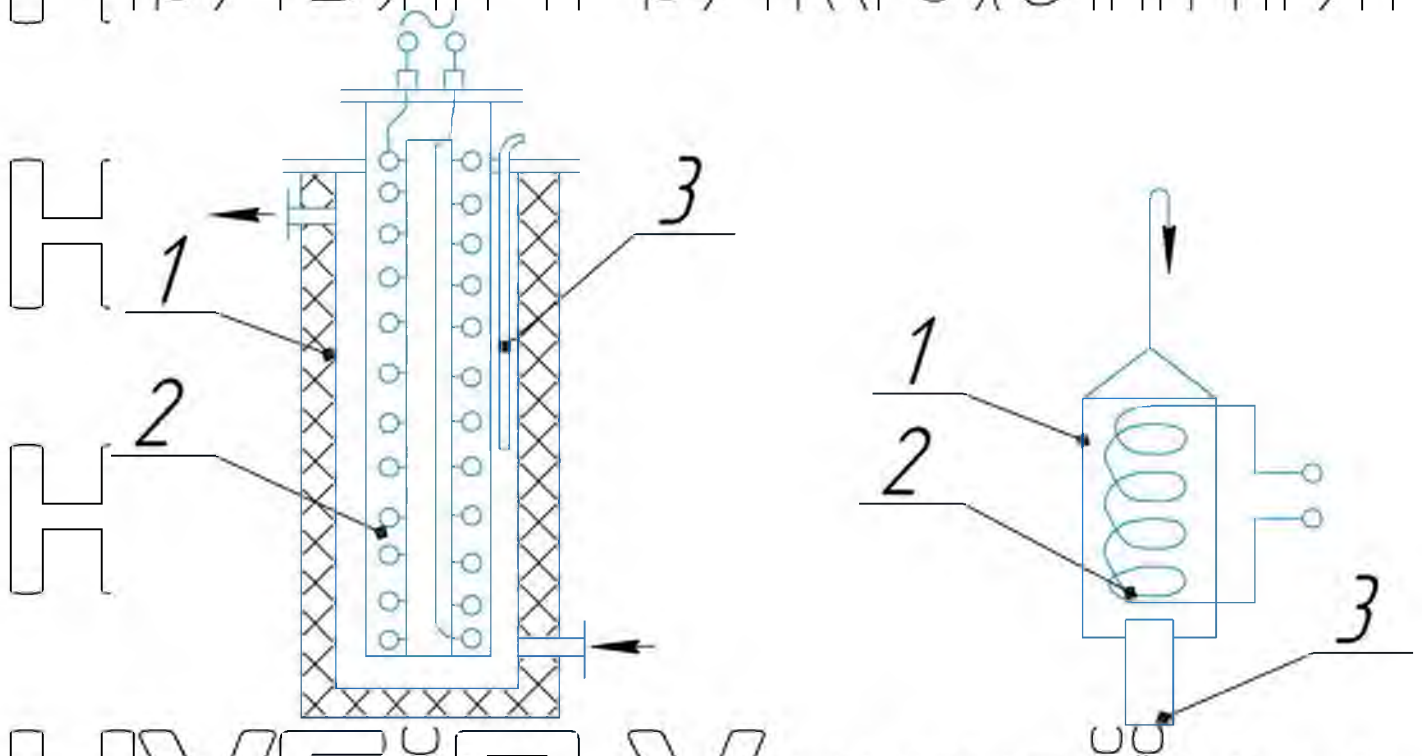


а) схема покриття дисків:
 1 - диск; 2 - нагрівач; 3 - патрубок для подачі парів карбоніла

б) нанесення покриття на внутрішню поверхню стаканчиків:

1 - стаканчик; 2 - патрубок для подачі пари карбоніла; 3 - електрообігрівач.

Рисунок 2.5 - Схеми варіантів покриття поверхонь різної форми.



а) піч для розкладання парів карбоніла:

1 - корпус печі; 2 - внутрішній стакан з електрообігрівачем; 3 - карман для термопари.

б) піч спалювання оксиду вуглецю:

1 - корпус печі; 2 - електрична спіраль; 3 - патрубок для входу CO.

Рисунок 2.6 - Печі, та їх види.

2.3.2. Вибір і розрахунок системи нагріву зразків і деталей в

установці

Типова технологічна установка для нанесення хромових покриттів добре зарекомендувала себе і впроваджена на багатьох підприємствах машинобудівної промисловості. Однак, система нагріву деталей, що застосовується в установці вимагає вдосконалення і принципової зміни. У

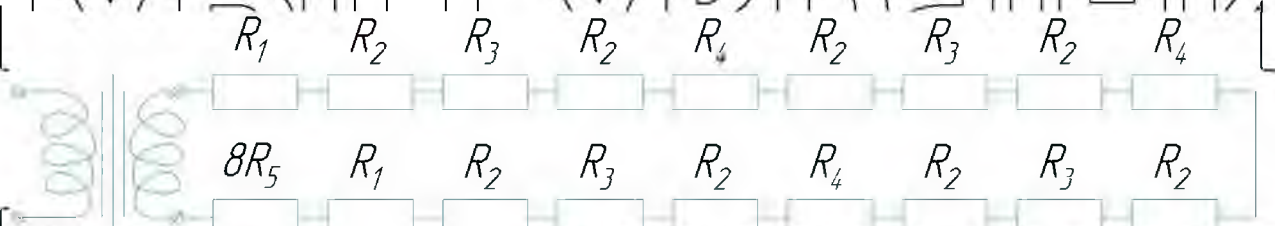
ремонтній практиці є широкий асортимент зношених деталей з різною конфігурацією поверхонь і ступенем зносу. Тому особливого значення набуває рівномірність нагріву деталі для отримання якісного покриття. При розробці системи нагріву були використані циліндричні зразки і поставлено такі умови:

система повинна забезпечувати зручну, швидку і надійну установку деталей в камеру; швидкий і рівномірний прогрів по всій довжині; зручну, швидку установку кришки реактора після завантаження і вивантаження деталей; захист обслуговуючого персоналу від опіків і ураження електричним струмом; скорочення часу нагріву і збільшення КПД обігрівального приладу.

В якості методу нагріву прийнятий контактний-резистивний нагрів до температури 650°C при залишковому тиску 9 Па .

Необхідне зусилля притиснення деталей до контактів і герметичність забезпечується силою електромагніту і зразки деталей підігрівалися шляхом проходження по них електричного струму. Живлення здійснювалося від трансформаторної установки машини для контактної зварювання. Електромагніт живився від джерела постійного струму.

Була розроблена схема послідовно з'єднаних нагрівальних елементів, в яких при проходженні по ним електричного струму великої сили виділялось тепло. Електрична схема еквівалентних опорів представлена на рисунку 2.7, на рисунку 2.8 представлено ескіз реакційної камери.



R_1 – опір підвідного дроту, Ом;

R_2 – опір контакту, Ом;

R_3 – опір зразка, що нагрівається, Ом;

R_4 - опір контактної пластини, Ом;
 R_5 - опір контактного переходу Ом мідний контакт – сталева деталь.

Рисунок 2.7 Електрична схема еквівалентних опорів

НУБІП України

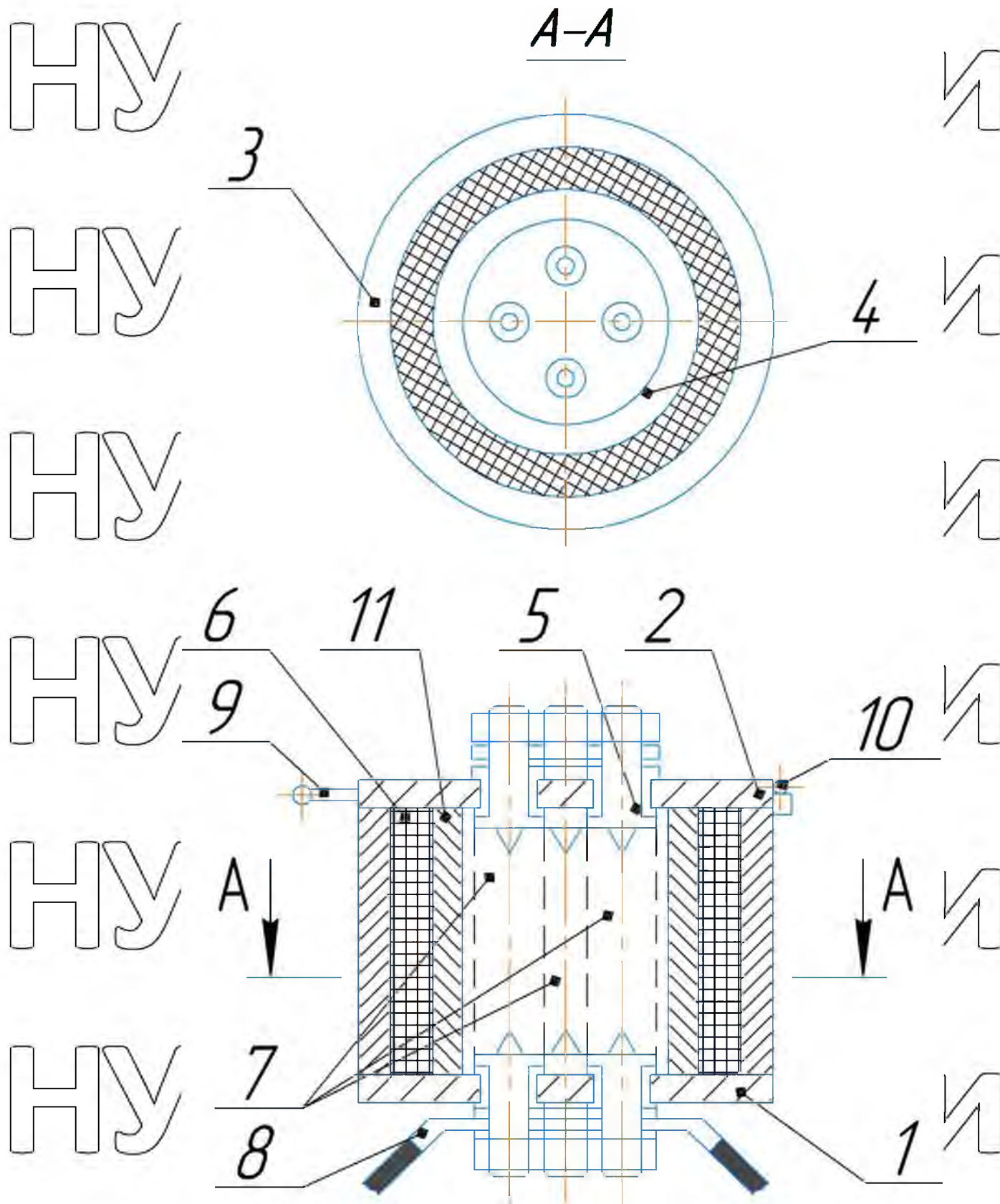
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



1 - нижня кришка; 2 - верхня кришка; 3 - зовнішня стінка; 4 - внутрішня стінка; 5 - електричний контакт; 6 - обмотка електромагніту; 7 - зразки, встановлені для нанесення покриття; 8 - підвідні дроти; 9 - ручка; 10 - петля; 11 - кільце.

Рисунок 2.8 – Ескіз реакційної камери

НУБІП України

Опір зразка R_3 :

$$R_3 = \rho \cdot \frac{l}{S}, \text{ Ом} \quad (2.17)$$

НУБІП України

де ρ – питомий опір матеріалу зразка, для сталі

$$\rho = 11 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м};$$

НУБІП України

довжина деталі, $l = 0,07$ м;

S – площа поперечного перерізу, мм^2 .

$$S = \pi(R^2 - r^2) = 3,14 \cdot (22^2 - 15^2) = 813,25 \text{ мм}^2, \quad (2.18)$$

де R і r радіуси зразка, мм;

НУБІП України

$$R_3(20^\circ\text{C}) = 11 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{0,07}{813,25} = 9,46 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

$R_3(20^\circ\text{C}) = 9,46 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ – опір зразка при 20°C .

НУБІП України

$$R_3(450^\circ\text{C}) = R_3(20^\circ\text{C}) \cdot [1 + \alpha(t - t_0)] =$$

$$= 9,46 \cdot 10^{-6} [1 + 0,006(450^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})] = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

де α – термічний коефіцієнт опору, для сталі $\alpha = 0,006$,

t і t_0 – температури холодного і нагрітого зразків;

НУБІП України

$$R_3 = 9,46 \cdot 10^{-6} \dots 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

Опір інших елементів ланцюга не повинні становити менше 10% від опору нагрівального елемента.

$$\Sigma R_1 + \Sigma R_2 + \Sigma R_4 + \Sigma R_5 = 0,1\% \Sigma R_3(20^\circ\text{C}), \quad (2.19)$$

НУБІП України

де $\Sigma R_1, \Sigma R_2, \Sigma R_4, \Sigma R_5$ – опір всіх інших ділянок ланцюга.

$$\Sigma R_1 + \Sigma R_2 + \Sigma R_4 + \Sigma R_5 = 0,14 \cdot 0,94 \cdot 10^{-6} = 1,316 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \quad (2.20)$$

З умови рівномірного прогріву з'єднувальних елементів маємо

$$R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = \frac{\Sigma R_1 + \Sigma R_2 + \Sigma R_4 + \Sigma R_5}{n} \quad (2.21)$$

де n – кількість елементів електромонтажу, $n=21$

$$R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = \frac{1,316 \cdot 10^6}{21} = 6,27 \cdot 10^4 \text{ Ом}$$

Загальний опір електричного кола:

$$R_{\min} = 4R_3 (20^\circ \text{C}) + \Sigma R_1 + \Sigma R_2 + \Sigma R_4 + \Sigma R_5 \text{ Ом};$$

$$R_{\min} = 4 \cdot 9,4 \cdot 10^{-6} + 1,316 \cdot 10^{-6} = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ Ом};$$

$$R_{\max} = 4R_3 (450^\circ \text{C}) + \Sigma R_1 + \Sigma R_2 + \Sigma R_4 + \Sigma R_5 \text{ Ом};$$

$$R_{\max} = 4 \cdot 3,3 \cdot 10^{-5} + 1,316 \cdot 10^{-6} = 1,33 \cdot 10^{-4} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{заг}} = 3,9 \cdot 10^{-5} \dots 13,3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Кількість теплоти, необхідної для нагрівання зразків від 20 до 450°C :

$$Q = 4 \cdot m \cdot c \cdot (T_2 - T_1), \quad (2.22)$$

де m – маса зразка $m = 0,1 \text{ кг}$;

c – питома теплоємність сталі, $c=460 \text{ Дж/кг}$.

$$Q = 4 \cdot 0,1 \cdot 460 \cdot (450 - 20) = 79120 \text{ Дж}$$

Так як нагрівання проводиться у вакуумі, то втрати виникнуть тільки на випромінювання і нагрів контактів. З урахуванням положення деталей, що навантажуються, чистоти їх поверхні, чистоти поверхні реакційної камери, приймаємо, що на нагрів контактів витрачається приблизно 40 % енергії і 1% витрачається на випромінювання. Повна кількість теплоти, необхідної для нагрівання деталей:

$$Q_n = Q_H \cdot (1 + 0,01 + 0,04) = 1,05 \cdot 79120 = 83076 \text{ Дж}$$

За формулою Джоуля-Ленца:

$$Q = J^2 \cdot R \cdot t \text{ Дж}, \quad (2.23)$$

де Q – кількість теплоти;

J – сила струму, А;

R – електричний опір, Ом;
 $R = 3,9 \cdot 10^{-5} \dots 13,3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$
 t – час нагріву, год;
 $t = \alpha \cdot R \cdot D \cdot \sqrt{D},$

де α – коефіцієнт, що враховує спосіб установки зразка, $\alpha = 1$;
 R – коефіцієнт, що враховує температуру нагріву, $R = 5$;
 D діаметр деталі, м.
 $t = 1,0 \cdot 5 \cdot 0,022 \cdot \sqrt{0,022} = 0,016 \text{ год} = 58 \text{ с}$

$J = \sqrt{\frac{Q}{R \cdot t}} = \sqrt{\frac{83076}{3,9 \cdot 10^{-5} \cdot 58}} = 6089 \text{ А}$ (2.24)

Так як установка живиться змінним струмом, а розрахунок проводиться

за законами для ланцюгів постійного струму, знайдемо амплітудне значення змінного струму з формули:

$J = J_{ef} = \frac{J_a}{2} \text{ А}$, (2.25)

де J_{ef} – ефективне значення перемінного струму, прирівняна до аналогічної дії постійного (J), А,
 J_a – амплітудне значення змінного струму, А;
 тоді
 $J_a = 2 \cdot J = 2 \cdot 6089 = 12178 \text{ А}$

Вторинна напруга трансформатора:
 $U = J \cdot R \cdot B$
 $U_{\min} = J \cdot R_{\min};$
 $U_{\min} = 12178 \cdot 3,9 \cdot 10^{-5} = 0,47 \text{ В}$

$U_{\max} = J \cdot R_{\max};$
 $U_{\max} = 12178 \cdot 1,33 \cdot 10^{-4} = 1,62 \text{ В}$
 Параметри трансформатора:
 $J = 12178 \text{ А}$

$$U = 0,47 \dots 1,62 \text{ В}$$

Як джерело живлення даним параметрам відповідає трансформатор, з наступними характеристиками:

Параметр	Величина
Номинальний зварювальний струм, А	12500
Вторинна напруга, В	0,5...2,5
Максимальний переріз, мм ²	1000
Номинальна потужність, кВт	39
Маса, кг	30
Габаритні розміри, мм	500×775×500

Розрахунок контакту

Діаметр хвостовика знаходимо з опору, яким повинен володіти контакт ($R_2 = 6,27 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}$)

$$R_2 = \rho \frac{l_2}{S} \text{ Ом}, \quad (2.26)$$

де ρ – питомий опір міді

$$\rho = 0,0017, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}};$$

$l < 0,095$ – довжина струмопровідної частини хвостовика, вибирається з конструктивних міркувань

S – площа поперечного перерізу хвостовика, мм²;

$$S = \rho \frac{l_2}{R_2} = 0,0017 \cdot \frac{9,5 \cdot 10^{-2}}{6,23 \cdot 10^{-8}} = 2604,8 \text{ мм}^2$$

Діаметр хвостовика:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \text{ мм}^2, \quad (2.27)$$

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2604,8}{3,14}} = 60 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр хвостовика рівний 60 мм з різьбою М30 (рисунком 2.9). Контакт монтується на кришці реакційної камери на ізоляційному азбест-

текстолітовому кільці і азбест-текстолітових шайбах з одночасною пропиткою місць з'єднання епоксидною смолою.

Розрахунок з'єднувальних контактних пластин проводиться з умови опору пластини розрахунковому R_4 . Пластина виготовлюється з

електротехнічної міді і має опір $R_4 = 6,27 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}$. З умов роботи пластини приймаємо її товщину 10 мм (рисунок 2.10).

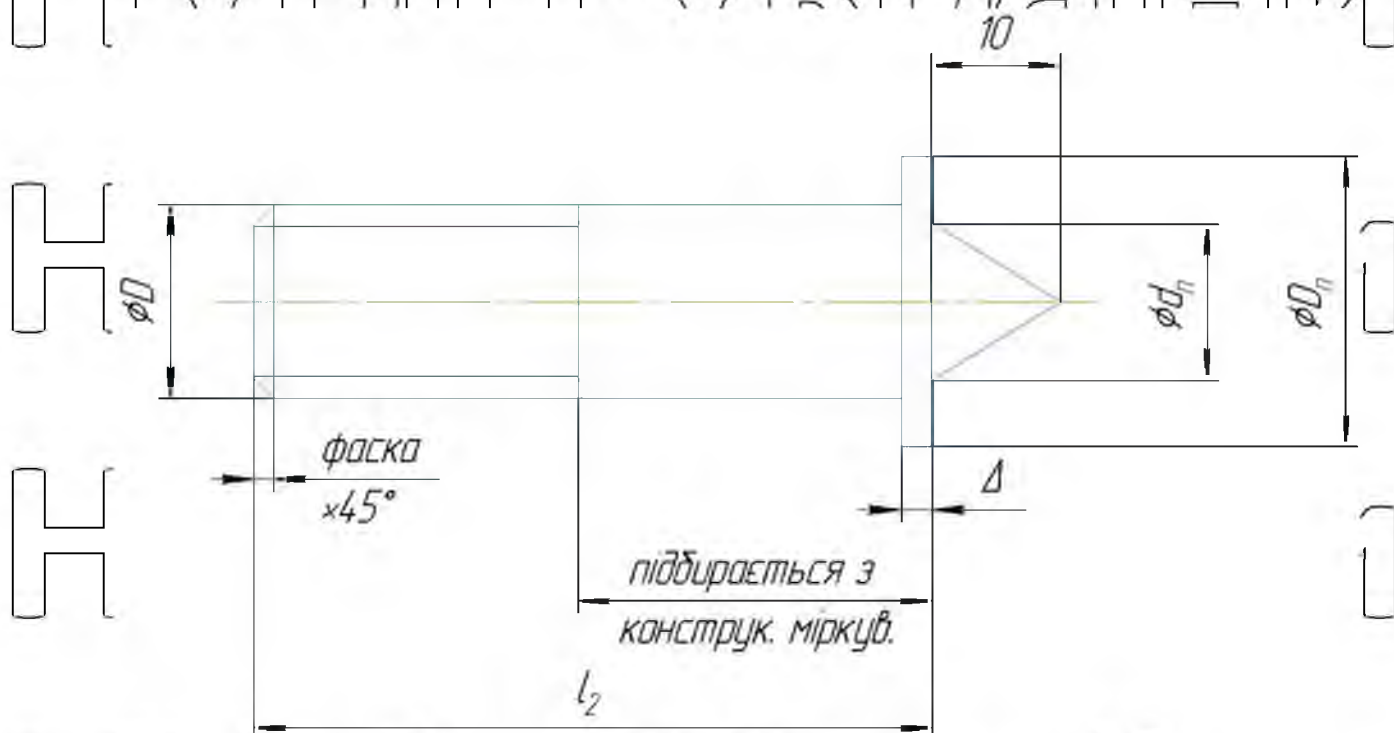
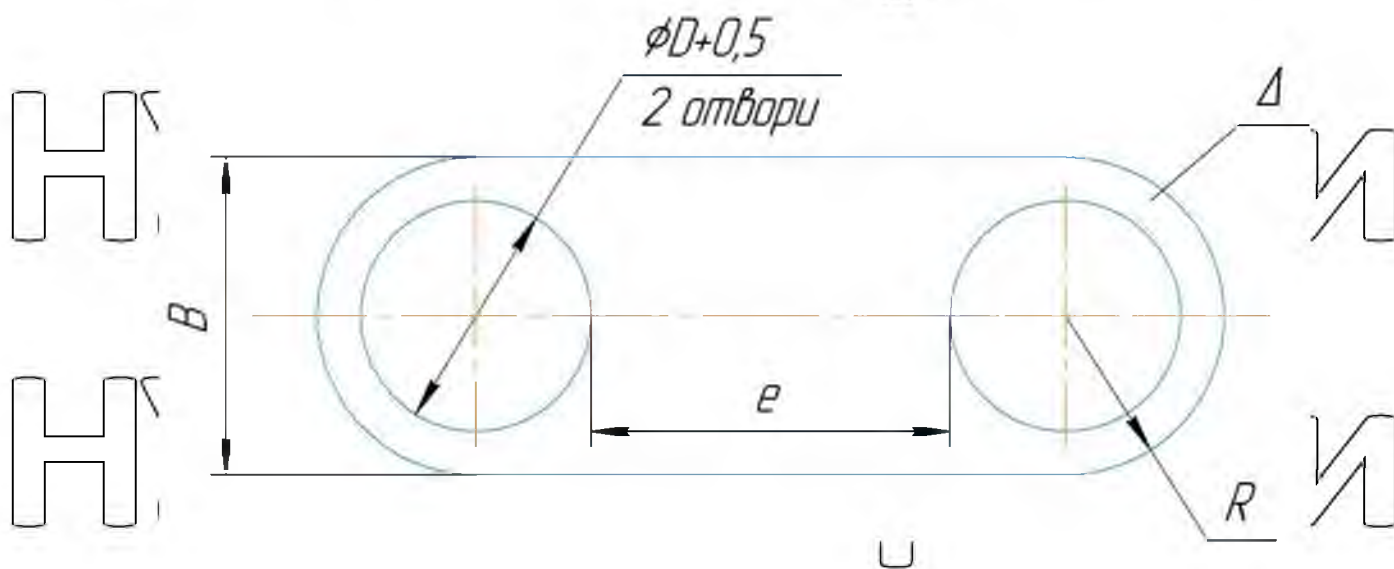


Рисунок 2.9 – Хвостовик



НУВБІП України

2.4. Фізико-механічні властивості двошарових гальванофазних покриттів

2.4.1. Вивчення елементного і фазового складу за допомогою рентгенодіагностики

Якісний фазовий склад визначили за допомогою рентгенофазного дефрактометра ДРОН-4. Дефрактометр дозволяє проводити широке коло рентгеноструктурних досліджень кристалічних матеріалів.

Метод заснований на вивченні дифракції рентгенівських променів від атомних площин кристалічної решітки досліджуваного матеріалу.

Кожна фаза має свою специфічну решітку з певними параметрами. Їй відповідає на рентгенограмі своя система ліній. Тому на зйомці речовини, яка представляє собою кілька фаз, виходить рентгендефрактограма, на якій присутні лінії всіх фаз, що входять до складу досліджуваної ділянки зразка.

У дефрактометра ДРОН-4 (рисунок 2.11, 2.12) використовують схему фокусування по Бреґу-Брентано.

По лініях рентгенограми або положенню дифракційних піків на дифрактограмі визначають бреггівські кути. За формулою:

$$\lambda = 2d \cdot \sin \Theta \quad (2.40)$$

де λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;

d – між площинна відстань,

Θ – кут, на якому виникає дифракція рентгенівських променів знаходять міжплощинну відстань і порівнюють його з відомими значеннями для індивідуальних фаз.

Хімічний склад гальваногазофазних хромових покриттів здійснювали за допомогою Оже-спектрометра «Varion».

Застосовувалася електронна спектроскопія для хімічного аналізу –

ЕСХА.

Робота проводилася на електронному спектрометрі ЕС-2401 з використанням рентгенівського випромінювання Mg (лінія K).

Накопичення спектральних даних, обробка і виведення спектрів здійснювали електронною системою CVOI, переведеної на ЕОМ. Після завантаження зразка в камеру підготовки спектрометра і відкачування на високий вакуум, зразок переводили в камеру аналізатора, де знімався оглядовий спектр в інтервалі енергії зв'язку електронів 0-1100 eV для якісного аналізу складу поверхні зразка. Чутливість аналізу становить 0,1 ат% за час зйомки вакуум в камері аналізатора спектрометра підтримувався на рівні $1 \cdot 10^{-9}$ торр.

Після зйомки оглядового спектра записували спектральні райони характеристичних піків елементів, виявлених оглядовому схилі. За інтенсивністю характеристичних піків елементів, використовуючи літературні дані проводили кількісний аналіз, а по положенню максимумів фотоелектронній лінії визначили ступінь окислення елементів і можливі хімічні сполуки на поверхні.

2.4.2. Визначення мікротвердості покриття

Мікротвердість гальваногоазофазних покриттів визначали приладом ПМУ-3 на тих же зразках після дослідження фазового складу, вдавненням алмазної піраміди НПМ (ГОСТ 9377-81) в матеріал покриття. Навантаження на індентор становили 0,100 Н, повторюваність досвіду – десятикратна.

Для коригування результатів в окремих випадках перевірку даних протоколу випробувань проводили за формулою [57]:



Рисунок 2.11 Загальний вигляд рентгенівського дифрактометра ДРОН-4



Рисунок 2.12 Рентгенівський дифрактометр ДРОН-4

$$H = \frac{2 \cdot P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1,854 P}{d^2} \quad (2.11)$$

де H - мікротвердість, МПа;

P - навантаження на алмазну піраміду, Н;
 $\alpha = 136^\circ$ - кут між різнобічними гранями піраміди при вершині;
 d - середнє арифметичне довжин обох діагоналей відбитку після зняття навантаження, мм.

2.4.3. Визначення морфології і внутрішньої структури покриттів

Морфологію і внутрішню структуру шарів, що наносяться, досліджували методом растрової електронної мікроскопії (РЕМ) на приладі BS-300.

На відміну від класичної просвічуваної електронної мікроскопії (ПЕМ) в растровому мікроскопі електронне зображення створюється не одночасно, а по точкам у вигляді растра. Оптична схема мікроскопа BS трилінзова і отримане зображення можна безпосередньо з екрану знімати на фотоплівку за допомогою фотоапарата. Принцип роботи приладу: електронна гармата створює пучок електронів, який за допомогою конденсаторних лінз формується і направляється на досліджуваний об'єкт. Пучок електронів, пройшовши крізь об'єкт потрапляє в поле об'єктивної лінзи, яка формує збільшене зображення об'єкта. Потім електрони потрапляють в поле проміжної лінзи, яка призначена для плавного регулювання збільшення мікроскопа в широких межах і отримання дифракції з частко досліджуваного об'єкта.

Проектуюча лінза створює кінцеве збільшене зображення об'єктів на флуоресціюючому екрані. Збільшення кінцевого зображення на екрані визначається як добуток збільшень, що створюються об'єктивною, проміжною і проекційними лінзами. Діапазон збільшення 300-2000 крат (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд растрового електронного мікроскопа

2.4.4. Визначення адгезійної властивості покриття з основою

2.4.4.1. Визначення адгезійної міцності при випробуванні на стиснення

Осадження покриттів проводили на циліндричних зразках висотою 10 мм і товщиною 5 мм. Зразки піддавалися стисненню на 25%. Для цих цілей використовували оправки у вигляді сталевих загартованих шайб 7,5 мм.

Критерієм адгезійної міцності слугувала частка залишкового, після стиснення, покриття на поверхні зразка (в%) (малюнок 2. 14)

$$A = \left(1 - \frac{G_1 + G_2}{G} \right) \times 100\% \quad (2.42)$$

де G_1 - вага зразка з покриттям до випробування, г;

G_2 - вага зразка з покриттям після стиснення, г;

G - вихідна вага хромового покриття, г.

2.4.4.2. Визначення адгезійної міцності методом акустичної емісії

Метод заснований на реєстрації акустичної емісії, що виникає при втисненні алмазного індентора твердоміра (Роквелл) в поверхню зразка з покриттям. Схема випробування представлена на рисунку 2.1 6.

Виникаюча при адгезійному руйнуванні покриття акустична емісія фіксувалася за допомогою вимірювальної системи, що складається з датчика, на який при дослідженні встановлювався зразок з покриттям і електронного приладу, сумуючого загальне число імпульсів акустичної емісії в широкому спектрі частот з амплітудою, характерною для руйнування покриття. Таким чином, критерієм адгезійної міцності слугувало загальне число імпульсів (чим більше число імпульсів, тим інтенсивніше відбувалося відшарування покриття).

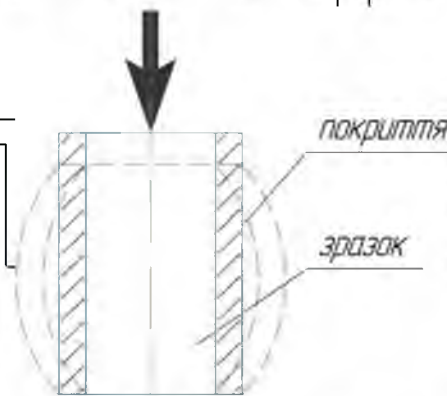
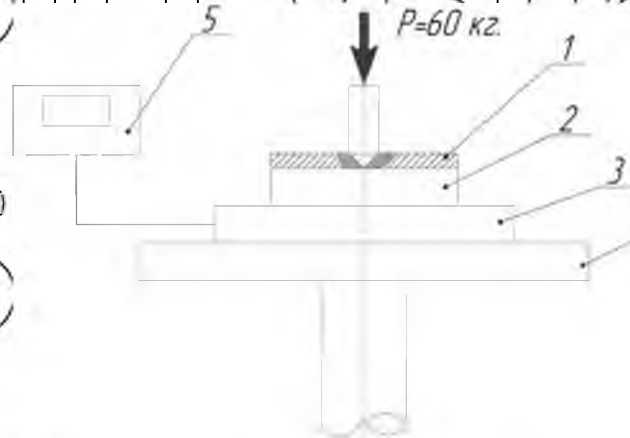


Рисунок 2.15 - Схема визначення адгезійної міцності



1 - покриття, 2 - зразок, 3 - датчик акустичної емісії, 4 - столик твердоміра, 5 - лічильник імпульсів.

Рисунок 2.16 – Схема визначення адгезійної міцності покриттів методом акустичної емісії

2.4.5. Визначення залишкових напружень покриттів

Для визначення залишкових напружень брали заготовку розмірами $L=55$ мм, $B=3$ мм, $h=2$ мм. Для отримання покриття на одну зі сторін зразка, перед осадженням зразки використовували захисні маски з мідної фольги, для забезпечення точності базування і захисту кінцевих ділянок поверхні, що покриваються. Стрілу прогину зразка з покриттям вимірювали за допомогою індентора годинного типу з точністю вимірювання до 1 мкм по схемі (рисунок 2.17) на підставі трьох вимірів x_1 , x_2 , x_3 . Прогин зразка визначався за формулою

$$F = \frac{x_1 + x_2}{2} - x_3 \quad (2.43)$$

Величину залишкових напружень, що діють в хромових покриттях, визначали за формулою [87]

$$\sigma = \frac{4E(h+h_1)^2 \cdot f}{3e^2 \cdot h \cdot h_1} \quad (2.44)$$

де E – модуль пружності матеріалу покриття;
 e – довжина зразка, на який облягали покриття;
 h – товщина зразків з покриттям, мм;
 f – стріла прогину зразка, мм;

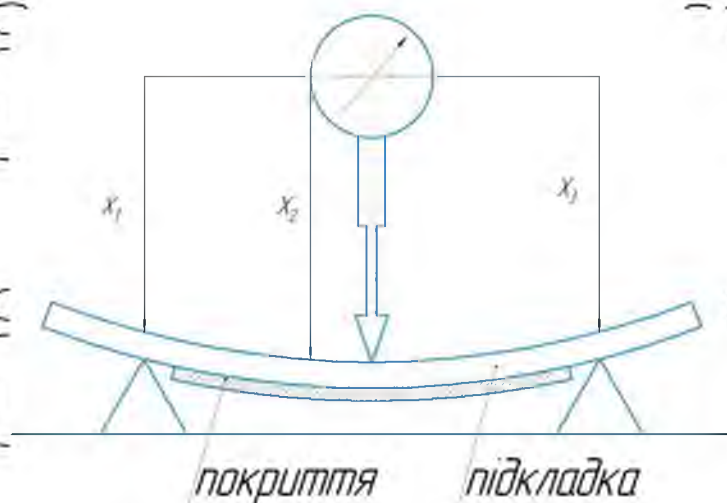


Рисунок 2.17 – Схема визначення стріли «прогину» для розрахунку залишкових напружень

2.4.6. Визначення зносостійкості покриття

2.4.6.1. Лабораторні випробування

Дослідження зносостійкості покриттів проводили на машині тертя СМЦ-2 для випробування на тертя і знос

Зразки виготовлялися у вигляді роликів діаметром 50 мм, товщиною 12 мм. Їх покривали на загальну товщину 250 мкм двошаровим покриттям: з них 100 мкм гальванічний хром, 150 мкм газофазний хром. Колодки виготовляли зі сталі 40ХН, чавуну СЧ18 і бронзи. Площа робочої поверхні складала 200 мм². Випробування проводили при постійній швидкості ковзання 0,45 м/с.

Перед проведенням випробування зразки припрацювалися протягом 56 годин до стабілізації моменту тертя.

Дані дослідження проводилися таким чином:

1. При постійному тиску $5 \cdot 10^6$ Па в камері з маслом 10МГ з вмістом абразиву 1,5%. Для рівномірної подачі абразиву в зону тертя його регулярно перемішували. Температуру в зоні тертя піддержували 70-80 °С за рахунок циркуляції масла в камері.

Дослідження кожної пари проводилися протягом 36 годин, при цьому через кожні 5 годин зразки знімали, промивали ретельно в бензині, просушували, обдували стисненим повітрям і зважували на вагах АДВ-200М з точністю до 0,10 мг.

2. При навантаженні $3-12 \cdot 10^6$ Па в парі зі сталлю 40ХН і $5-20 \cdot 10^6$ Па в парі з чавуном СЧ18 протягом 6 годин, в камері з маслом 10МГ і домішкою абразиву

3. При $2,5 \cdot 10^6$ Па на протязі 1 години, в умови х сухого тертя в парі зі сталлю 40ХН.

Зважування проводили через кожні 20 хвилин.

Машина тертя СМЦ-2 обладнана пристроєм, що дозволяє реєструвати момент тертя. За відомим моментом легко обчислюється коефіцієнт тертя, що характеризує антифрикційні властивості покриття.

Коефіцієнт тертя визначали по моменту тертя:

$$M_{тр} = N_{н.т.} \cdot R, \quad (2.45)$$

де $M_{тр}$ – момент тертя по шкалі самописця, Н·м;
 $N_{н.т.}$ – сила нормального тиску, МН;

R – радіус зразка, м.

При всіх випробуваннях на зносостійкість покриттів приймали рівним 3.

2.4.6.2. Стендові випробування

Стендові випробування на знос проводилися на стенді з двигуном Д-240.

Прискорене зношування поршневих пальців досягалося шляхом застосування роботи двигуна в умовах форсованих режимів з додаванням в масло кварцового пилю з дисперсністю 10 мкм. Випробувано 16 пальців. Час випробування по 100 годин.

Розміри ПП визначали вертикальним оптиметром ІВК з ціною поділки 0,002 мм. Розміри перевірялися перед складанням кожної пари і після закінчення досліджень.

При дослідженні порівняльної зносостійкості встановлювалися:

один поршневий палець, хромований в стандартному електроліті, один хромований гальваногазофазним напиленням і серійний, виготовлений зі сталі 40ХН і цементовий.

Відновлені хромуванням ПП були взяті з ремонтних підприємств, що відновлюють двигуни автотракторної техніки. Перед хромуванням вони були прошліфовані до виведення овальності, конусності і слідів зносу.

Електролітичне хромування проводили при температурі електроліту 50 °С і катодній щільності струму 70 А/дм², товщина покриття становила 100-150 мкм.

Газофазне покриття наносили на гальванічний хром, попередньо протерши поверхню етиловим спиртом в режимі: 400-420 °С – температура в реакційній камері, 60 °С – температура сублиматора в умовах вакууму 2,3/1,5 Па.

Після нанесення газофазного хрому зовнішню поверхню шліфували під заданий квалітет точності *IT5*, *IT6* і доводили шорсткість до Ra 0,16 мкм.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОЛІТИЧНЕ ХРОМУВАННЯ

3.1. Вихід хрому по струму і швидкість осадження при електричному хромуванні

Основним показником при електричному хромуванні є вихід металу по струму і швидкість осадження на деталь.

Вихід хрому по струму залежить не тільки від режимів, а й складу електроліту.

Механізм осадження хрому дуже складний. Під час хромування на катоді одночасно протікають процеси осадження хрому; виділення водню; відновлення шестивалентного хрому до тривалентного, утворення на поверхні катода тонкої плівки, що складається з продуктів відновлення хромової кислоти і активного аніона.

На рисунку 3.1 приведена залежність виходу по струму від концентрації іонів SO_4 для виділення хрому і водню і утворення тривалентного хрому.

При електролітичному хромуванні використаний стандартний електроліт, який містить 2 основних компоненти: хромовий ангідрид CrO_3 – 250 г/л і сірчаної кислоти H_2SO_4 – 2,5 г/л.

Для отримання покриттів хорошої якості відношення CrO_3/H_2SO_4 має підтримуватися постійним і рівним 100:1 (рисунк 3.2)

Збільшення концентрації сірчаної кислоти призводить до відкладення дрібнозернистих блискучих осадів, зменшення – до отримання сірих недоброякісних. В обох випадках вихід хрому по струму знижується.

Також вихід хрому по струму при збільшенні вмісту хромового ангідриду знижується (рисунк 3.3)

На отримання якісних осадів впливають такі фактори: щільність струму, температура і склад електроліта. Всі ці фактори знаходяться в тісному взаємозв'язку і з зміною одного потрібно змінювати другий.

При збільшенні температури електроліту знижується вихід хрому по струму (рисунк 3.4), зменшується час, підвищується випаровування електроліту, і в результаті потрібно підвищити щільність струму.

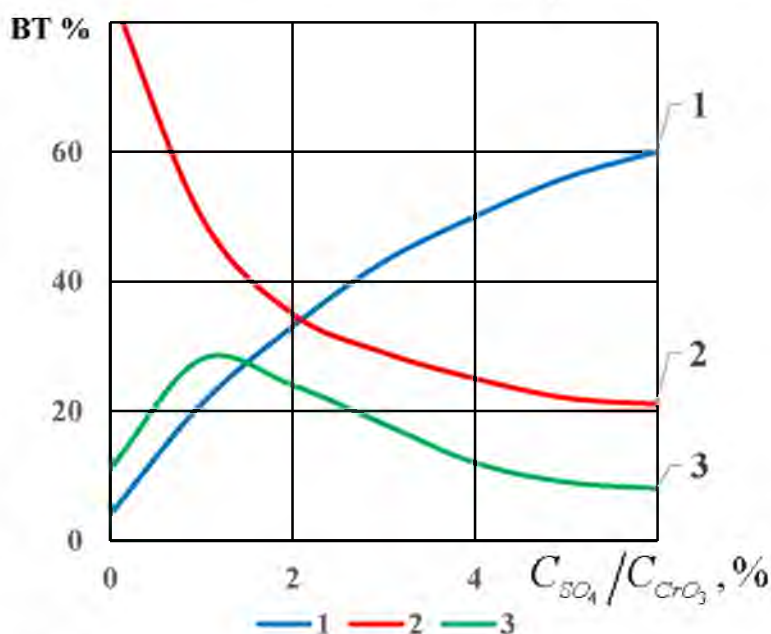
При цьому при підвищенні температури знижується і твердість хромових осадів (рисунк 3.5).

Вплив щільності струму на вихід хрому по струму при співвідношенні ($\text{CrO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 100 : 1$) показано на рисунку 3.6.

Для кожної температури хромування існує певний мінімум щільності струму, нижче якого припиняється виділення металевого хрому. Чим вище температура хромування, тим вище нижня границя щільності струму. Два значення: вихід по струму і швидкість осадження тісно взаємопов'язані.

В результаті при хромуванні в стандартному електроліті вихід по струму 13-15% при швидкості осадження 0,4-0,7 мкм/хв при температурі 50 °С.

Отримані нами результати при електролітичному хромуванні узгоджуються з роботами багатьох авторів і не суперечать загальним теоретичним положенням [18,30].



1 — утворення трьох валентного хрому, 2 — виділення водню;
3 — виділення хрому.

НУБІП УКРАЇНИ

Рисунок 3.1 Вихід по струму для власних катодних процесів в залежності від концентрації іонів SO_4^{2-} при $C_{CrO_3} = 330 \text{ г/л}$, $i = 15 \text{ А/дм}^2$, $t = 20^\circ\text{C}$

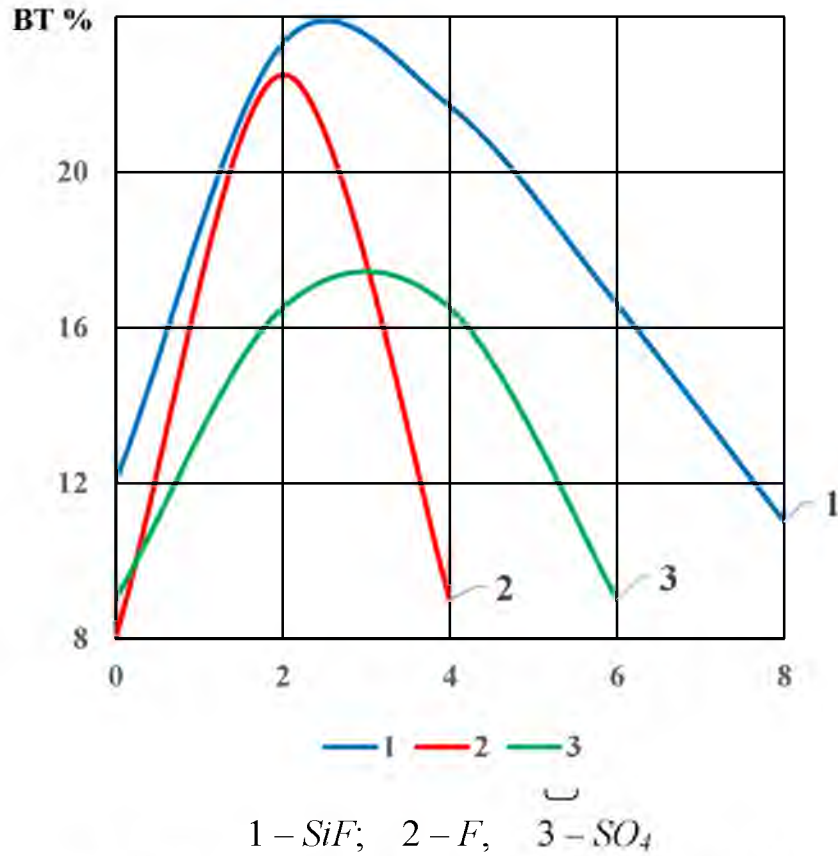
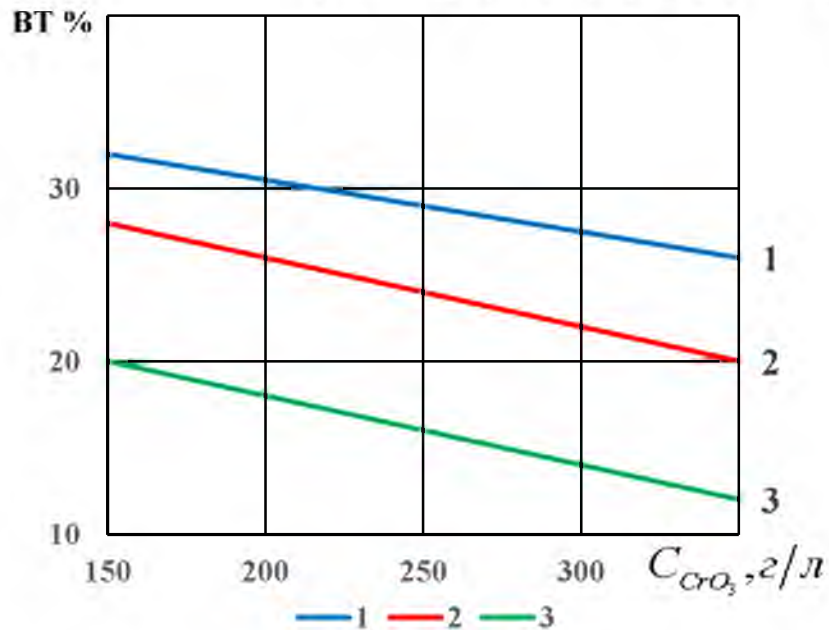
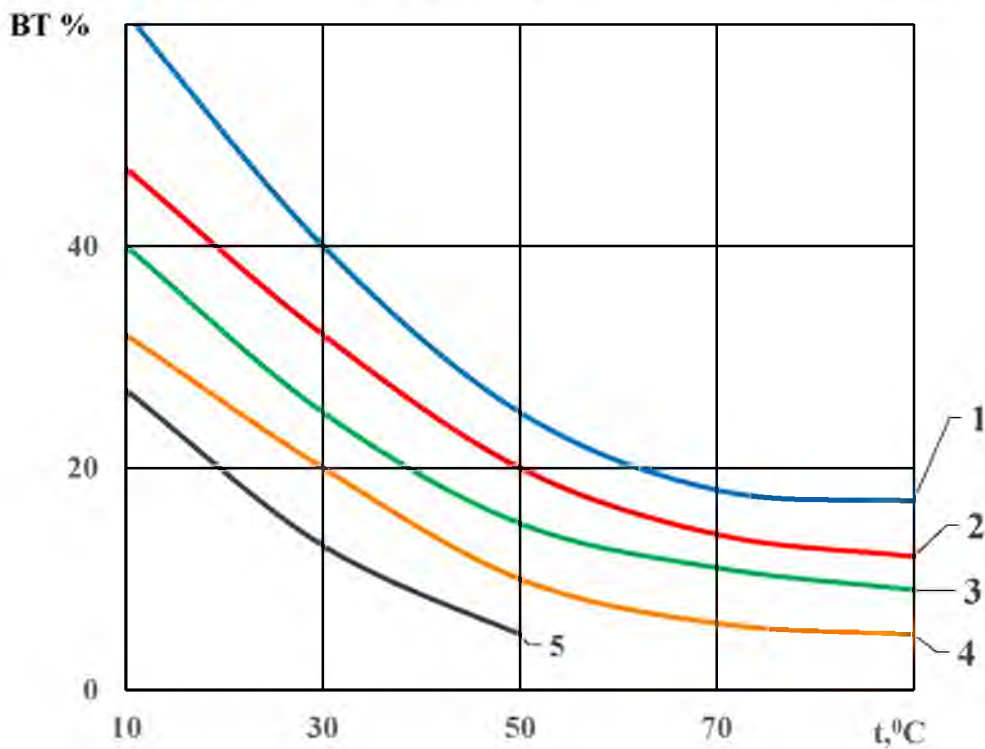


Рисунок 3.2 Вплив концентрації активного аніону CrO_4^{2-} на вихід за струмом



НУБІП України

Рисунок 3.3 Вплив змісту хромового ангідриду на вихід хрому по струму при щільності струму



— 1 — 2 — 3 — 4 — 5

НУБІП України

Рисунок 3.4 Вплив температури на вихід хрому по струму при різній щільності струму

НУБІП України

НУБІП України

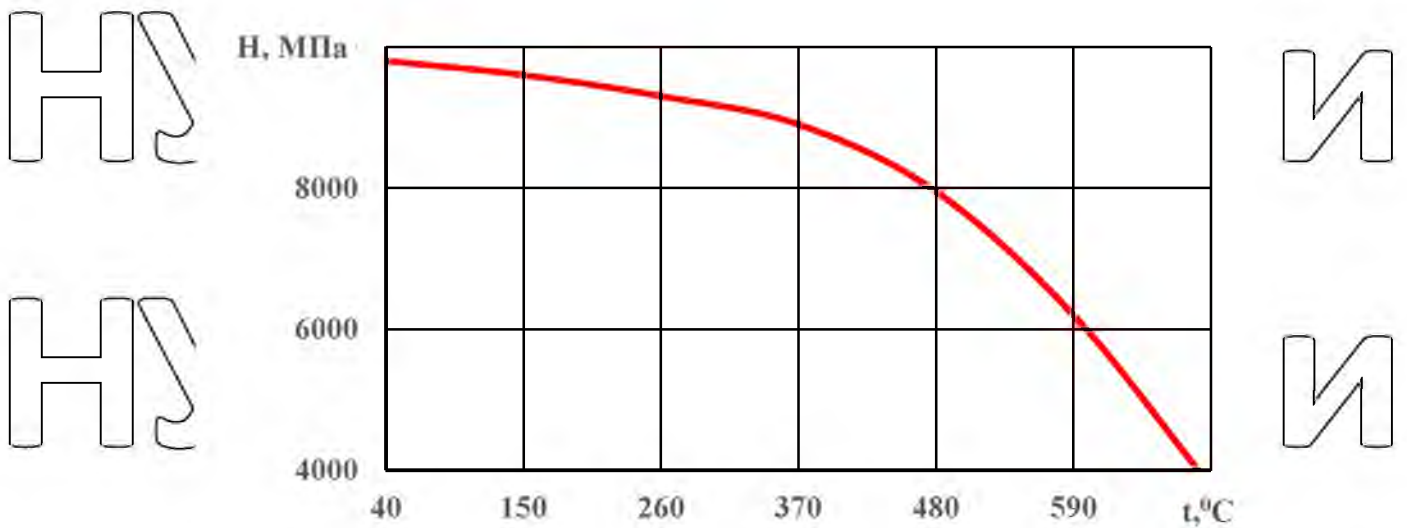


Рисунок 3.5 – Зміна твердості хромового покриття від температури

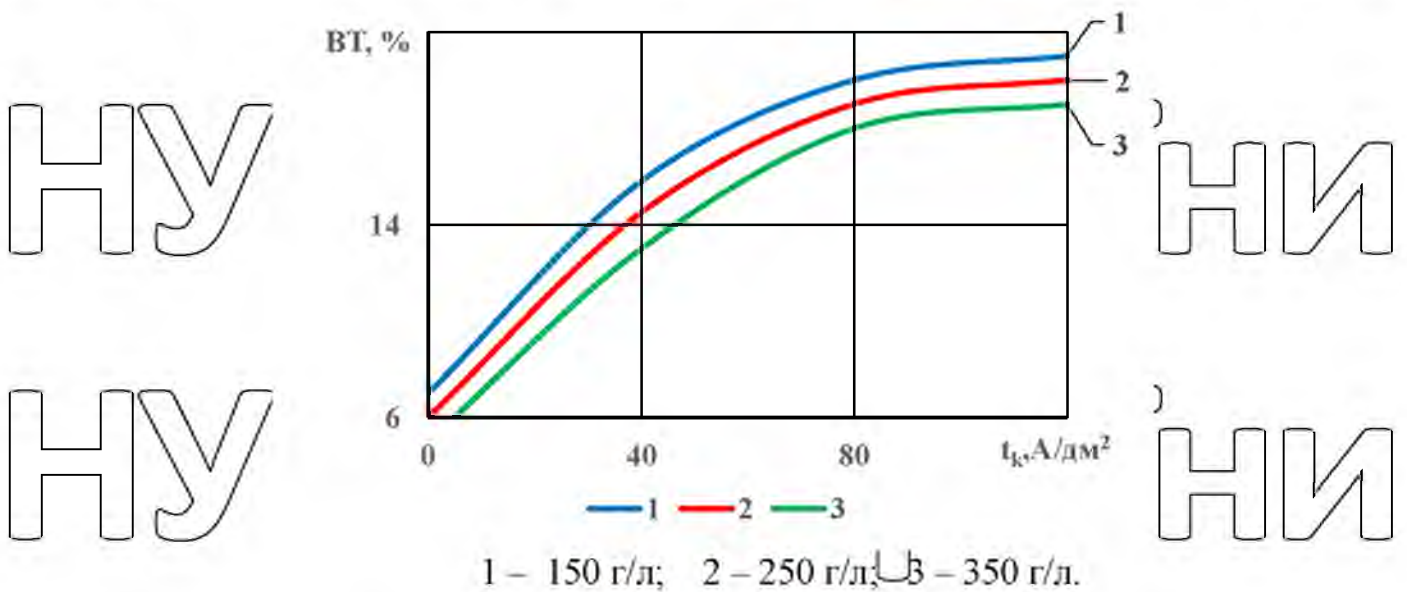


Рисунок 3.6 Вплив щільності струму на вихід хрому по струму при температурі 55°C і концентрації CrO_3

3.2. Фізико-механічні властивості електролітичного хромування

Фізико-механічні властивості електролітичних осаджених металів (мікротвердість, внутрішні напруження, структура, адгезійні властивості, зносостійкість) є важливими характеристиками якісного покриття електролітичного хрому. Мікротвердість електролітичного хрому

визначається структурною, яка повністю залежить від режимів електролізу: щільності струму, температури і складу електроліту (рисунок 3.7).

Осади електролітичного хрому мають надзвичайно дрібну структуру.

Блискучий хром має розміри кристалів 0,00 1...0,01 мкм.

Для поршневого пальця характерна структура: для внутрішньої поверхні

– мартенситна, а для робочої поверхні цементованого загартованого поршневого пальця – структура троститу [11].

Мікротвердість блискучих осадів досягається 5000...10000 МПа

(рисунок 3.8).

Для поршневого пальця твердість визначали на приладі ПМТ-3.

Твердість зовнішньої поверхні досягає $H_{50} 367$. Для зняття внутрішніх напружень, деталі поміщають в масляну ванну на 1,5 год при температурі 180-200 °С.

Залежність внутрішніх напружень від температури електроліту показаний на рисунку 3.9.

Оптимальна температура електролітичного хромування 45-55 °С.

Міцність зчеплення електролітичного хрому визначається походженням основного металу, підготовкою перед хромуванням і правильно обраним режимом хромування.

Тому з легованими сталями зчеплення хрому відрізняється високою міцністю. Зносостійкість хромового покриття залежить від умов припрацювання змащування і експлуатації. При вірно вибраних умов нанесення і експлуатації хромового покриття зносостійкість зростає в 5-10 раз.

Звичайні хромовані покриття не якісно зволожуються рідинами, а також мастилом. Для поршневих пальців рекомендується покриття пористим хромом канало-подібного типу, який в цих умовах більш надійний, краща спроможність припрацювання і протидія заїданню.

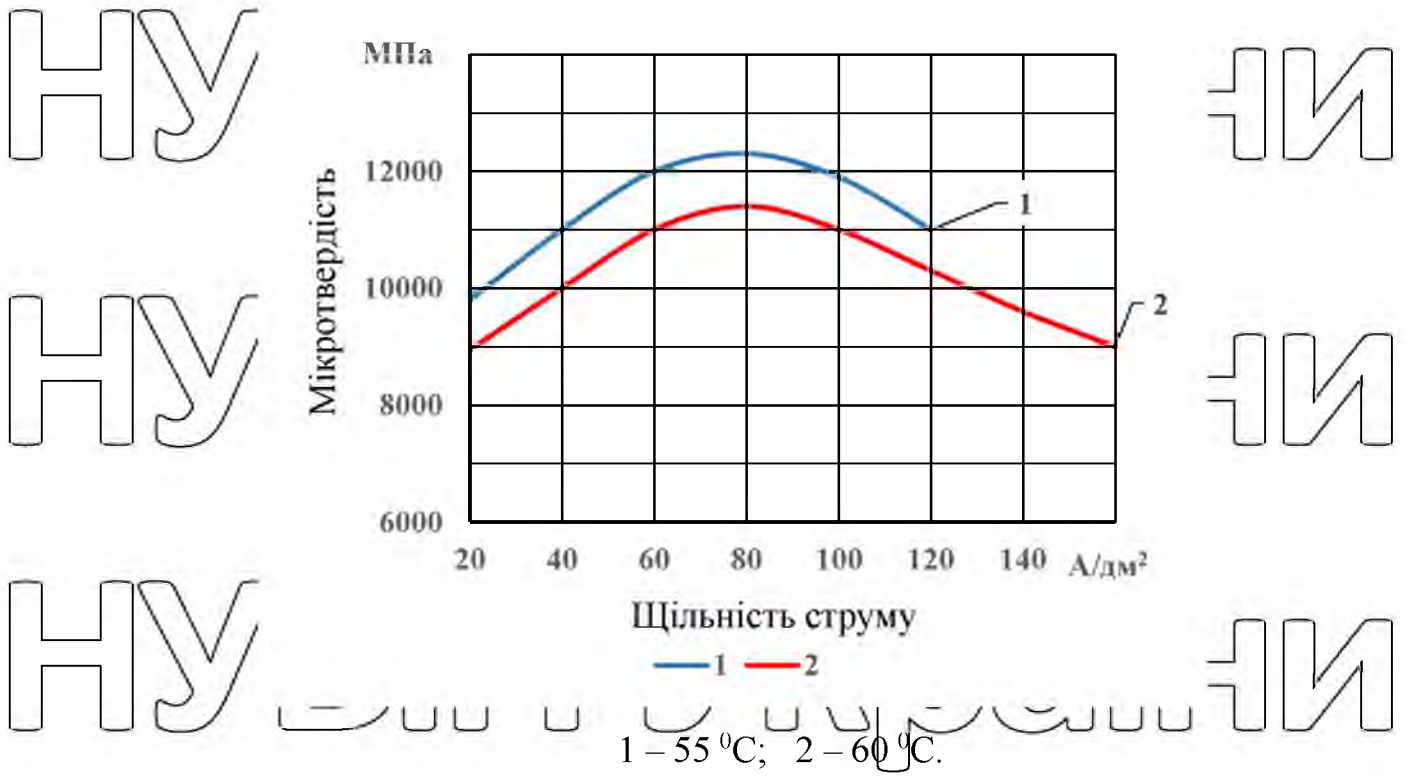


Рисунок 3.7 – Залежність твердості хромових покриттів від щільності струму (150 г/л CrO_3 , товщина шару хрому 0,12...0,15 мм) при різних температурах

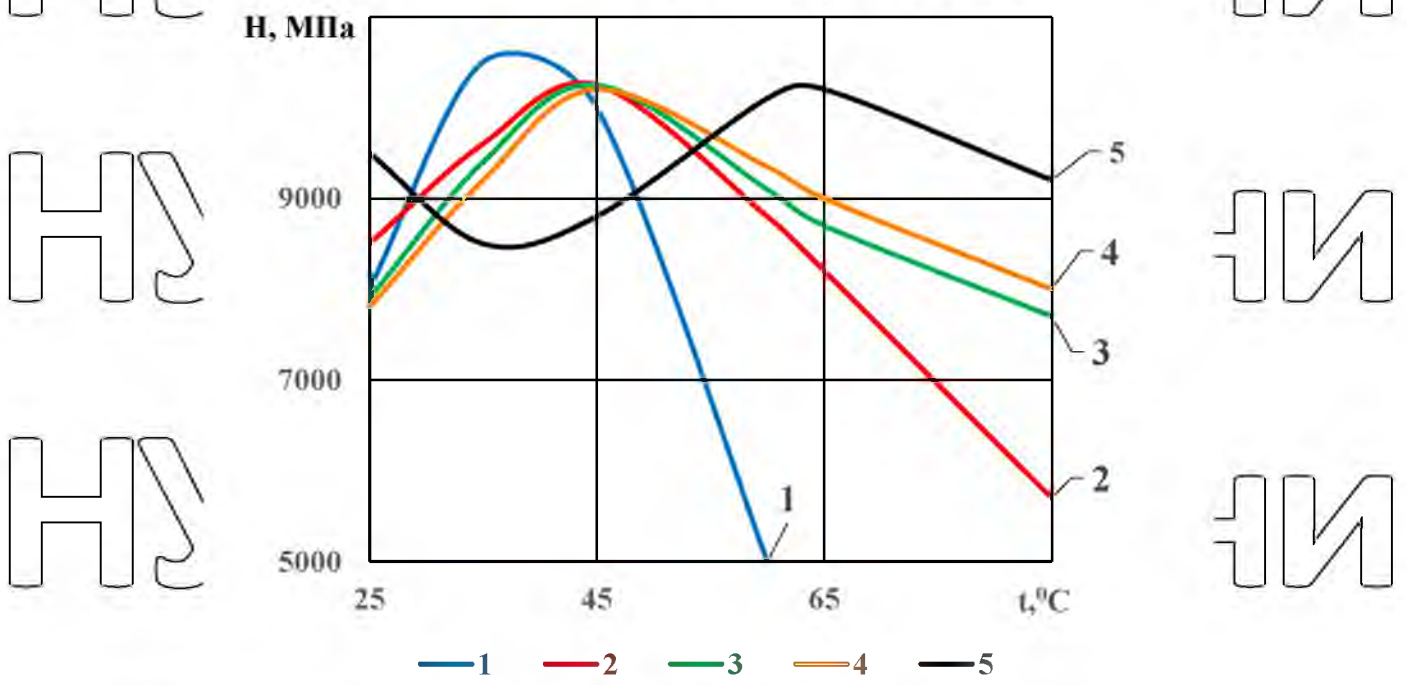


Рисунок 3.8 Залежність твердості осадів хрому від температури і щільності струму CrO_3 – 250 г/л, H_2SO_4 – 2,5 г/л

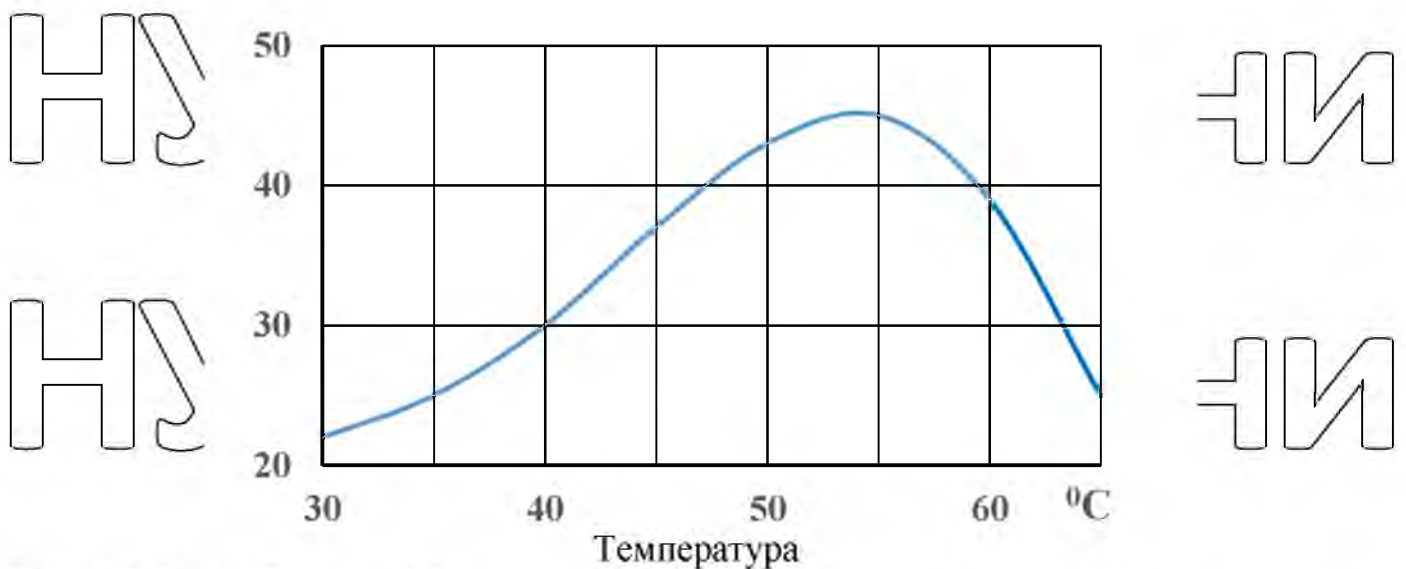


Рисунок 3.9 Вплив температури електролізу на величину внутрішніх напружень хромових опадів

3.3. Мікроструктура електролітичного хрому

Дослідженнями підтверджено, що шар з гальванічного хрому складається з карбідів хрому $(Cr, Fe)_7 C_8$. Під шаром карбиду знаходиться перехідний шар з високим вмістом вуглецю (0,8%). Такий шар утворюється в результаті дифузії вуглецю з внутрішніх шарів до поверхні на зустріч хрому. Вуглець володіє великою швидкістю дифузії, ніж хром, тому для утворення карбідного шару використовується не весь вуглець, який йде на утворення перехідного оксидного шару. Карбідний і оксидний шари мають високу твердістю до 1300 НВ.

3.4 Висновки

1. Проведені нами дослідження підтвердили використання вдвоєнних поршневих пальців стандартних електролітів наступного складу:
ангідрид хрому – 250 г/л
сірчана кислота – 2,5 г/л

дистильована вода

2. Гальванічне хромування проводили при наступних режимах:

щільність струму – 50-70 А/дм²

температура – 50 °С

НУБІП України

3. Вихід по струму досягає 13-15%. Швидкість осадження

0,4-0,7 мкм/хв.

4. В результаті хромування було отримано товщина хромування

100-150 мкм, структура дрібнозерниста, покриття пористе для забезпечення

кращого мащення, спостерігається сітка тріщин.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. ГАЗОФАЗНЕ ХРОМУВАННЯ

4.1. Теоретичне обґрунтування процесу. Визначення кінематичних параметрів деталі при газофазному хромуванні

Однією з особливостей ремонтного виробництва деталей працюють при знакозмінних навантаженнях, є відновлення зношених поверхонь при температурах нижче лінії фазових перетворень на $150...200\text{ }^{\circ}\text{C}$, для запобігання зміни внутрішньої структури і зниження експлуатаційних характеристик [2]. При цьому найбільш поширеною формою таких деталей є суцільний циліндр або з внутрішньою порожниною.

З огляду на газофазне хромування поводить у вакуумі, на вирішення даної технологічної задачі накладається ряд спрощуючих обмежень. Перше – теплове розсіювання можливо тільки всередині деталі. Друге – зона

розсіювання теплоти приймається для однорідного матеріалу з однаковим розподілом температури по всьому напрямку зони підведення тепла. Відповідно для імпульсного підведення інфрачервоного випромінювання зона

розігріву в поздовжньому перетині представлятиме півколо, а в поперечному перерізі півколо усічений зовнішньою поверхнею деталі. При використанні джерел безперервного випромінювання в поперечному перерізі деталі буде утворене кільце, а при поздовжньої подачі – кільцева спіраль. У поперечному перерізі зона нагріву в обох випадках буде представлено у вигляді півкола.

Таким чином, прийнявши лінійний характер прогріву і з огляду на обертання деталі від точкового нагріву і отриманням зони нагріву у вигляді напів-сфери можна перейти при нульові поздовжньої до кільцевої зоні прогріву. Враховуючи поздовжню подачу – до кільцевої спіраль. Третє – первісна зона

прогріву по глибині не повинна перевищувати 10 % від зовнішнього радіуса або товщини деталі, а зона розсіювання тепла 20 %.

Початковими умовами для розрахунку кінематичних параметрів для газофазного хромування поршневих пальців є початкова зовнішня поверхня радіуса R і внутрішня поверхня радіуса R_1 , при температурі T_0 , обертаючись

навколо нерухомої осі O з кутовою швидкістю ω . На зовнішню поверхню пальця має вплив концентрований тепловий вплив потужністю P і нагріває палець в точці O_1 до температури T_1 . Потрібно визначити на який кут φ повернеться палець, віддаючи тепло в зону розсіювання з середньою температурою T_3 , щоб в точці A виробляти газофазне хромування при температурі T_2 (рисунок 4.1).

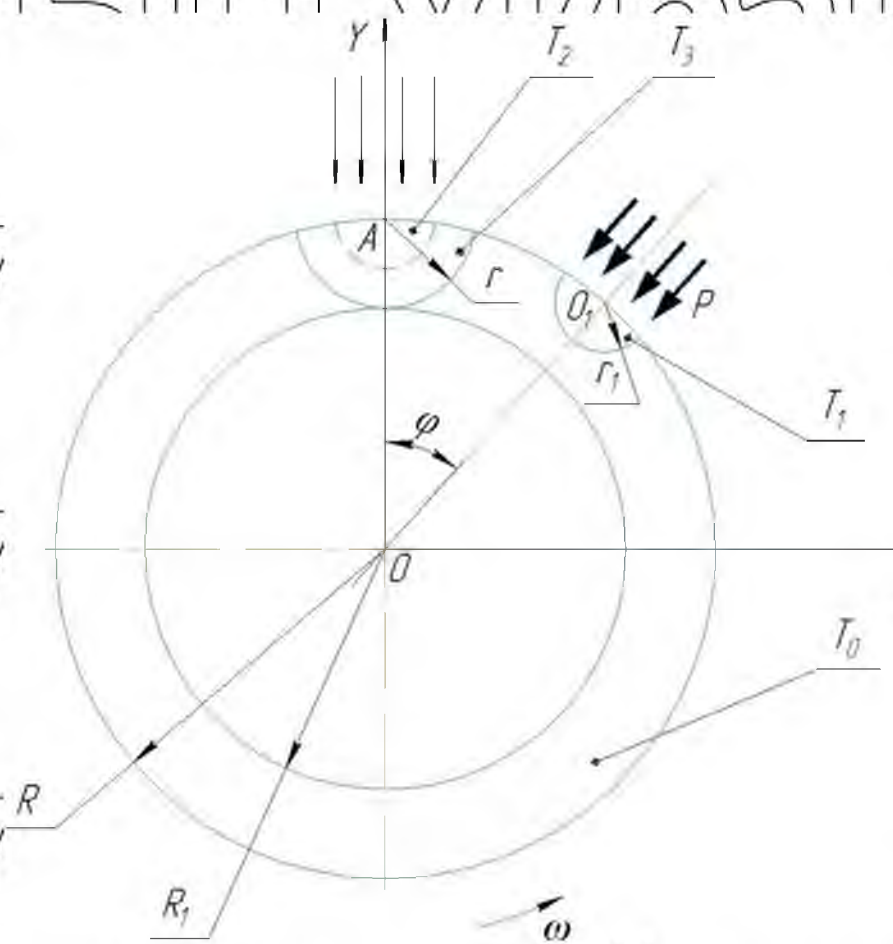


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема технологічного процесу газофазного нанесення хрому на попередньо підігріту деталь

Будемо вважати, що палець виготовлений з однорідного матеріалу. При цій умові зона нагріву пальця буде представляти з себе в початковий момент усічену півкулю, обмежене з зовнішньої сторони поверхню радіуса R і з внутрішньої сторони сферичної поверхні радіуса r_1 з центром симетрії в точці O_1 .

Кількість тепла, яке піде на нагрівання пальця за рахунок концентрованого теплового впливу визначиться за формулою [2]:

$$Q_1 = cm(T_1 - T_0) \quad (4.1)$$

де Q – кількість тепла що пішло на нагрівання, Дж;
 c – питома теплоємність матеріалу пальця, Дж/кг⁰С;

m – маса нагрітого об'єму пальця, кг;

T_1 – кінцева температура нагрівається обсягу, ⁰С;

T_0 – початкова температура пальця, ⁰С.

Вагу об'єму, що нагрівається я обсягу аналітично представимо у вигляді

$$m = \rho \cdot V \quad (4.2)$$

де ρ – щільність матеріалу, з якого виготовлено палець кг/м³;

V – об'єм частини пальця, що нагрівається м³.

З огляду на те, що зовнішній радіус пальця R значно перевищує радіус сфери r , що обмежує нагрітий об'єм, його з достатнім ступенем точності, що не перевищує 1,5% похибки, можна прийняти за півкулю. В силу ізотропності

матеріалу втулки та прийнятих умов, можна записати, що нагріта частина пальця буде

$$V = 2/3 \pi r_1^3 \quad (4.3)$$

де r_1 радіус сфери, яка обмежує обсяг нагрітого металу, м.

Кількість тепла (4.1) з використанням формул (4.2) і (4.3) виразиться формулою

$$Q_1 = 2/3 \pi r_1^3 cm(T_1 - T_0) \quad (4.4)$$

Кількість тепла яке надійшло від джерела концентрованого теплового випромінювання (приблизно рівне Q_1) визначиться виразом

$$Q_1 = P\tau \quad (4.5)$$

де P – потужність теплового випромінювача, Вт;

τ – час нагріву, с.

З формул (4.4) і (4.5) можна визначити час нагріву

$$\tau = \frac{2\pi r_1^3 cm(T_1 - T_0)}{3P} \quad (4.6)$$

Кількість тепла, яке повинно залишитися в нагрітому об'ємі після його охолодження до температури T_2 , буде визначатися за формулою, аналогічною (4.4) і буде мати вигляд

$$Q_2 = 2/3 \pi r_1^3 c m (T_2 - T_0) \quad (4.7)$$

де Q_2 – кількість тепла, що залишилося в нагрітому об'ємі перед газофазним хромованням, Дж;
 T_2 – кінцева температура об'єму V , °C.

Кількість тепла, яка буде віддана в зону розсіювання теплоти, коли температура нагрітого об'єму V знизиться від T_1 до T_2 , визначатиметься за формулою:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 2/3 \pi r_1^3 c m (T_1 - T_2) (r^3 - r_1^3) \quad (4.8)$$

З іншого боку тепловіддача твердого тіла визначається за формулою [3]

$$\Delta Q = \alpha A t (T_1 - T_2) \quad (4.9)$$

де α – коефіцієнт теплопровідності, Дж·м²·с⁻¹·°C⁻¹;
 A – площа поверхні, через яку відбувається теплопередача, м²;
 t – протяжність процесу теплопередачі, с.

Площа поверхні півсфери при прийнятих умовах буде

$$A = 2 \pi r^2 \quad (4.10)$$

З урахуванням формули (4.10) вираз (4.9) можна привести до виду

$$\Delta Q = 2 \pi r^2 \alpha t (T_1 - T_2) \quad (4.11)$$

Прирівнюючи кількість тепла, відданого нагрітим об'ємом V в зону розсіювання теплоти, яке визначається формулами (4.8) і (4.11), знайдемо час процесу віддачі тепла

$$t = \frac{c \rho (r^3 - r_1^3)}{3 \alpha r^2} \quad (4.12)$$

З огляду на те, що поршневий палець при газофазному хромованні рівномірно обертається приводом станка, закон руху має вид

$$\varphi = \omega \cdot t \quad (4.13)$$

де φ – кут повороту пальця навколо осі обертання від зони нагріву до зони газофазного хромування, рад;

ω – кутова швидкість обертання, рад/с.

Підставивши в закон обертання пальця (4.13) час процесу тепловіддачі з рівняння (4.12), знайдено шуканий кут повороту, коли температура нагрітого об'єму V знизиться від T_1 до T_2 °С.

$$\varphi = \frac{c\rho(r_3^3 - r_1^3)}{3\alpha r^2} \quad (4.14)$$

Вирішивши рівняння (4.14) щодо ω , знайдемо кутову швидкість обертання пальця під час теплопередачі як функцію кута її повороту.

$$\varphi = \frac{3\alpha\varphi r^2}{c\rho(r_3^3 - r_1^3)} \quad (4.15)$$

У розв'язуваній технологічній задачі кут повороту задається технологічними параметрами установки газофазного хромування

$$\varphi = Q_1 A / R \quad (4.16)$$

4.2 Особливості процесу газофазного хромування

При нанесенні газофазного хрому на неоднорідні підкладки з деталлю не дає позитивних результатів. Зчеплюваність не дає якісного покриття, тому широкого застосування нанесення газофазного хрому в ремонтній практиці не знайшло.

В роботах Борисова Г.А. [61] пропонується нанесення газофазного хрому на гальванічний хром. Початковий матеріал $\text{Cr}(\text{CO})_6$ представляє собою кристалічну речовину, що знаходиться у твердому стані, безбарвний, випаровується при температурі 300 °С, кипить при температурі 1470 °С. При температурі 1530 °С розчиняється у хлорофілові, ефірах, бензолі та спиртах. Найбільш характерною властивістю є висока летучість. Останні дослідження підтверджують, що молекули $\text{Cr}(\text{CO})_6$ можуть абсорбуватися на поверхні що росте, а не просто отримувати тепловий імпульс за час контакту з поверхнею.

Молекули $\text{Cr}(\text{CO})_6$ прилипають до поверхні за рахунок взаємодії лігадів.

При цьому виникають поверхневі, свого роду оксикарбенові комплекси [65].

Символ «S» позначається поверхню, вже модифіковану терморозпадом метал-обмеженого з'єднання (МОЗ).

Газофазне покриття можна уявити як елементарні процеси

1. Процеси розпилення рідкого карбоніла:

- а) утворення рідкої плівки і викид її в реактор;
- б) розпад плівки карбоніла на краплі (первинне розпорощення);
- в) дроблення одиночних крапель (вторинне розпорощення).

2. Процеси розпилення карбоніла:

- а) випаровування мікро крапель карбоніла;
- б) випаровування з поверхні рідкого карбоніла;
- в) сублимація кристалічного карбоніла.

3. Процес перенесення.

4. Процеси взаємодії газів з підкладкою, а потім з новоствореними на ній карбонільними металами:

а) ван-дер ваальсова адсорбція і хемосорбція газів карбонільними металами;

б) розчинення газів в металах, що утворюються з карбонілів;

в) дифузія газів в карбонільних металах.

5. Формування карбонільних металевих плівок і покриттів на підкладці:

а) утворення на підкладці зародків металевих кристалів;

б) зростання кристалів і формування карбонільних металевих покриттів.

6. Одночасне формування частинок карбонільних металевих порошоків в газовій фазі.

7. Процеси формування на підкладці ниткоподібних кристалів (металевих вусів).

Потрібно зазначити, що метод газофазного хромування не знайшов широкого застосування як при виготовленні деталей, так і в ремонтній практиці, через незадовільну адгезію з підкладками з різнорідних металів. Хоча

багато робіт з досліджень фізико-механічних властивостей покриття [19, 44-52] роблять перспективним цей спосіб. А також при відновленні деталей, в тому числі перших пальців, вперше докладні дані по морфології поверхні, внутрішній структурі, мікротвердості і ряду інших властивостей карбонільних хромових покриттів наведені в роботі [67]. Знання закономірностей зміни їх властивостей в залежності від параметрів технологічного режиму дозволяє здійснювати процеси отримання хромових покриттів із заданими властивостями (тобто необхідної морфологією поверхні, необхідної внутрішньою структурою, мікротвердістю та ін.).

4.2.1. Фізичне осадження покриттів

При фізичному осадженні формування покриттів здійснюється випаровуванням речовини покриття виробу у вакуумі з його подальшою конденсацією з парової фази на поверхні виробу. При фізичному осадженні температура підкладки нижче температури джерела парів. Випаровані атоми зазвичай конденсуються на більш холодній поверхні підкладки.

При введенні в вакуумну камеру активних газів (киснево-вуглеводно-азотовмісних) частини випарованих речовини взаємодіють з компонентами газової атмосфери з утворенням відповідних оксидів, карбідів і нітридів. При іонно-плазмовому осадженні формування покриттів на основі хімічних сполук можливо при протіканні хімічних реакцій між іонами випаровуючого металу і реакційного газу (N_2 , NH_3 , O і ін.) з подальшою конденсацією на поверхні відповідного хімічного з'єднання.

Таким чином, методами фізичного осадження можна формувати різні покриття: металеві, керамічні та інші з різноманітною структурою.

Формування покриттів при фізичному осадженні в вакуумі здійснюється в 3 стадії:

1. Отримання матеріалу покриття в пароподібному стані (випаровування).
2. Перенесення матеріалу покриття від випаровування до деталі.

3. Осадження (конденсація) молекул (іонів) матеріалу покриття на поверхні деталі.

При випаровуванні перехід атомів з поверхні в парову фазу відбувається, коли енергія коливань атомів на поверхні перевищує енергію зв'язку з найближчими сусідами. Швидкість випаровування визначається температурою випаровування і швидкістю розсіювання пари, яка, в свою чергу, залежить від величини вільного пробігу атомів в реакторі. Підвищення тиску залишкових газів в реакторі вище $1,33 \cdot 10^{-1}$ Па і температури до величини, при якій тиск парів металу досягає 1,33 Па, призводить до зниження швидкості випаровування, внаслідок зменшення довжини вільного пробігу і утворення у граничному шарі поверхні що, випаровується [66]. Тому для забезпечення технічно прийнятною швидкістю випаровування створюється розрідження менше 10^{-2} Па в реальних технологічних умовах, при яких довжина вільного пробігу більше відстані між випарниками і покривається поверхня [89].

Осадження (конденсація) з пари металу тро виходить у всіх тілах, температура яких нижче і температури джерела випаровування.

Конденсація проходить в два етапи:

1 – утворення; 2 – зростання утворення (шару).

У роботах [89, 90] описано механізм утворення при кристалізації із парової фази. В другому етапі конденсації відбувається ріст шару в перпендикулярному напрямку до поверхні підкладки. В процесі росту при нагріві в покритті можуть відбуватися процеси рекристалізації.

Структура і будова шару, отриманого конденсацією з парової фази, залежить від матеріалу покриття і підкладки, температури покриття і підкладки, тиск в системі.

4.2.2. Кінетичні закономірності формування газофазних хромових покриттів

Покриття що утворюються з газофази на поверхні підкладки при терморозпаду МОЗ (металоорганічних з'єднань), є результатом гетерогенного хімічного процесу.

Це процес включає наступні стадії:

1) Випаровування (сублімація) первинного МОЗ і перенесення парів із зони випаровування в зону осадження;

2) Процеси переносу (дифузії в газовій фазі) маси і тепла безпосередньо але до поверхні виробу, що покривається і від неї;

3) Реакція осадження, що включає в себе адсорбцію молекул вихідного МОЗ, поверхневою реакцією терморозпаду, десорбцію летючих продуктів розпаду

4) Процеси формування структури покриття, пов'язані з поверхневою міграцією атомів, процесами агрегації і кристалізації.

Швидкість протікання стадій можна визначати характерним часом. Перший характерний час – t_1 визначається як час переносу МОЗ від випарника до реакційної камери і визначається за формулою

$$t = \frac{e}{V}, \quad (4.17)$$

де e – розмір системи, $e = 0,01 \dots 1$ м,

V – швидкість потоку, $V = 10^{-2} \dots 10^{-5}$ м/сек.

В результаті час першої стадії коливається від $10^2 \dots 10^3$ сек і, виходячи з (4.17), мало залежить від природи і кількості реакційно-здатних добавок, що вводяться в зону осадження.

Другий характерний час – t_2 визначається часом дифузії МОЗ з потоку парогазової суміші до реакційної поверхні. Для визначення цього часу можна використовувати товщину «наведеної плівки», виражену через коефіцієнт масовіддачі.

$$B = D / \delta \text{ або } B = N_s D / d; \quad (4.18)$$

де B – коефіцієнт масовіддачі;

δ – товщина покриття;

D – коефіцієнт дифузії; $D = 10^{-4} \dots 3 \times 10^{-4}$ м²/сек

N_s – критерій Нуссельта;

d – діаметр реактора.

Середній час перенесення молекул вихідного MO_2 на реакційну поверхню – t_2 можна визначити з відношення:

$$T_2 = d / (2B) = d^2 / 2N_4 D_2 \text{ (сек)} \quad (4.19)$$

Критерій Нуссельта можна визначити по формулі:

$$N_4 = 1,077(Vd / u\lambda)^{1/3}, \quad (4.20)$$

де u – теплова швидкість молекул;
 λ – довжина вільного пробігу молекул.

Для газу, при умові ламінарного потоку, ($d/e=10$) критерій Рейнольдса

дорівнює

$$Re = Vd / \nu = (10 - 10^3) / 0,449 m C_0 u \lambda, \quad (4.21)$$

де ν – кінематична в'язкість;

C_0 – щільність середовища;

m – витрати речовини по масі.

Час t_2 варіюється в межах $(0,5 \dots 3) \times 10^{-3}$ сек і залежить не тільки від геометричних параметрів реакційної камери, але і від кінематичної в'язкості ν , щільність C_0 , коефіцієнта дифузії, які визначаються складом парогазової суміші.

Третім характерним часом – t_3 є час, необхідний для протікання процесу на поверхні, які відповідають стадіям 3 і 4.

В стадіях проходить ріст покриття визначеного складу і структури

При швидкості росту W маса моношару на 1 м^2 – m_0 , частота оновлення

поверхні f складе:

$$f = W / m_0 = W / h_0, \quad (4.22)$$

де W – швидкість росту $\text{А}^0/\text{сек}$

h_0 – висота моношару.

Як видно, суміш потрапляє на $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ в 1 сек доводиться на f шарів і час на 3,4 стадіях буде коливатися від $10^{-1} \dots 10^{-8}$ сек.

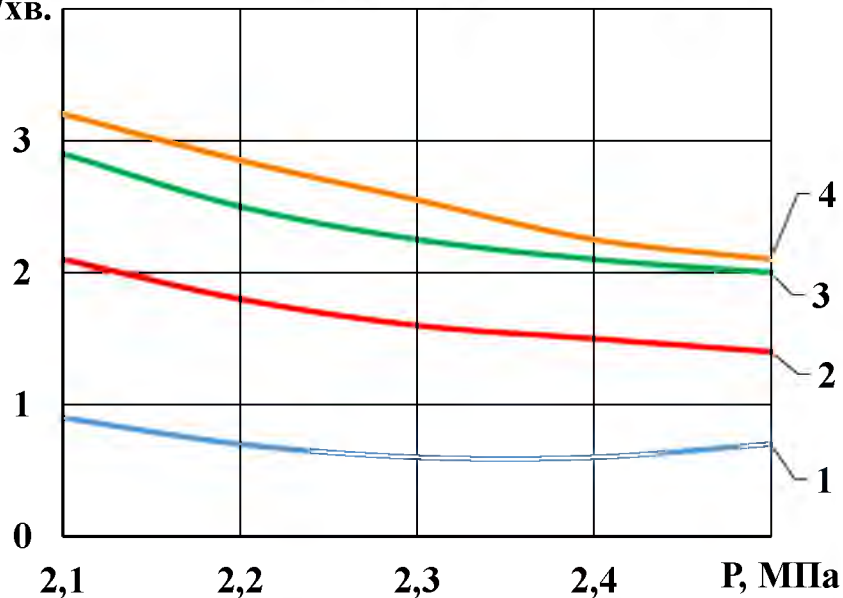
Висновки

1. В залежності від типу установки, початкового МОЗ і режимів осадження (температура підкладки, тиск в реакційній камері, концентрація МОЗ і т.д.) можуть спостерігатися різніми відношеннями у швидкостях протікання окремих стадій процесу (рисунки 4.2, 4.3).

2. Певне співвідношення в швидкостях протікання стадій задає певний механізм осадження покриттів, від якого повністю залежить структура, фазовий і хімічний склад осаджуючих покриттів.

3. Введення в зону осадження різних добавок, особливо в здатних вступати хімічну реакцію з вихідним МОЗ істотно змінює швидкість протікання процесу і виявляє вплив на поліпшення фізико-математичних властивостей покриття.

V, мкм/хв.



1 - t = 400°C; 2 - t = 450°C;

3 - t = 500°C; 4 - t = 550°C.

Рисунок 4.2 - Вплив тиску на швидкість росту покриттів

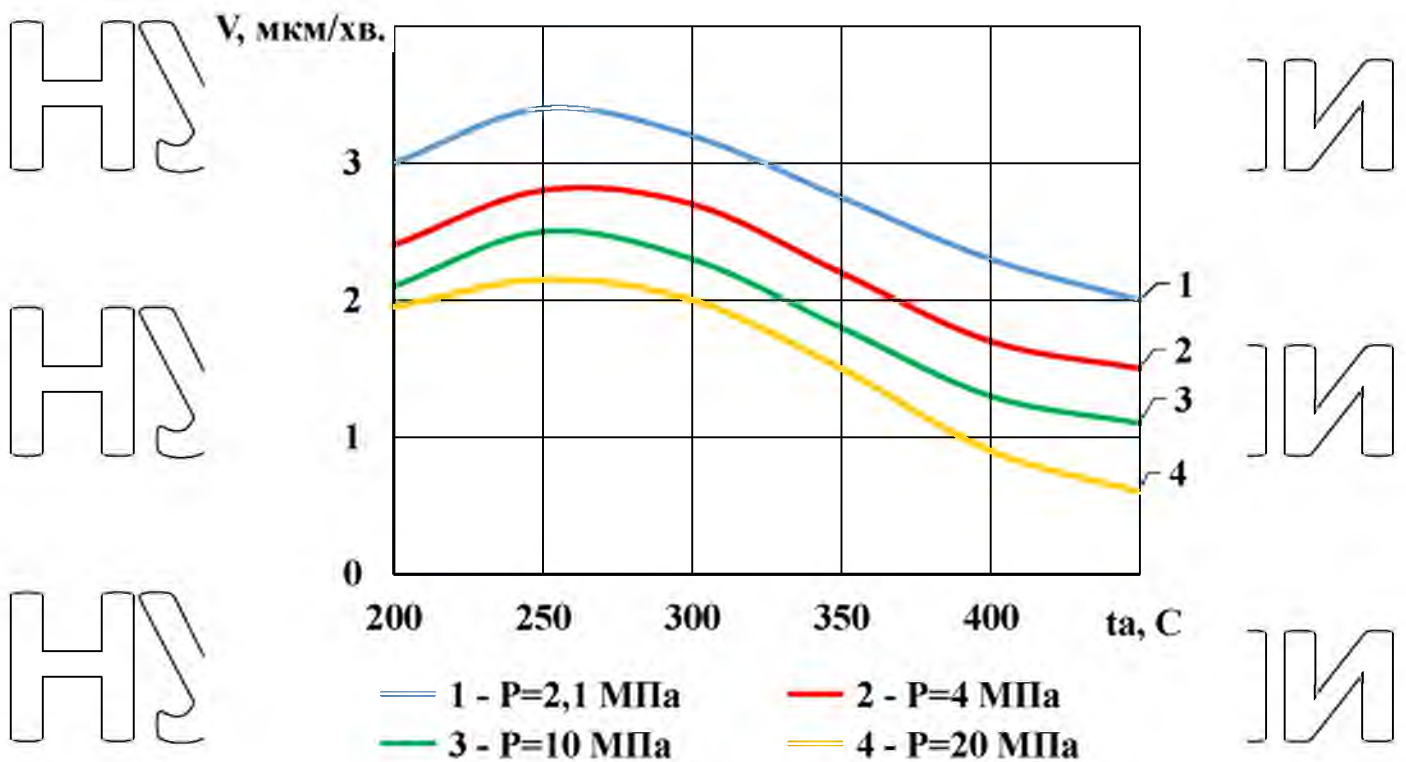


Рисунок 4.3 – Вплив температури підкладки на швидкість росту

покривів / $V_{ос} = 12$ хв, V подачі карбоніла = 10 мл/хв

4.3. Фізико-механічні властивості двошарового гальваногазофазного покриття

4.3.1. Мікро твердість комбінованого покриття

Основним технологічним параметром, що визначає структуру покриття, а, отже, його властивості, є температура осадження. Максимальної мікротвердості H_{100} 16,5 ГПа володіють покриття, отримані при температурі осадження 400-420^oС. Відомо, що такі покриття, отримані в цьому режимі осадження, мають столбчатий структурою на основі кристалічного хрому і карбиду Cr_7C_3 . Висока твердість таких покриттів обумовлено максимальними значеннями мікростворення кристалічної решітки за рахунок домішок вуглецю. При подальшому підвищенні температури підкладки рухомість атомів хрому і вуглецю в процесі кристалізації збільшується, отже, зменшення мікростворення кристалічної решітки і мікротвердість падає.

4.3.2. Дослідження мікроструктури, хімічного і фазового складу

4.3.2.1. Мікроструктура гальваногазофазного покриття

Зазначено раніше, процес терморозпаду з'єднань хрому представляє собою гетерогенний процес, загальна схема якого значно ускладнює необхідністю двох форм адсорбції початкових молекул MO_3 в реакції їх терморозпаду. В ряді робіт вказано, що структура, фазовий і хімічний склад хромових покриттів, осаджених у вакуумі, визначається співвідношенням швидкостей протікання окремих стадій процесу, які визначаються в свою чергу, технологічними параметрами процесу: температурою підкладки, концентрацією MO_3 і продуктів розпаду в зоні осадження, тиск в реакторі, швидкістю відкачування і т.д. Послідовний характер протікання окремих стадій процесу поблизу і на поверхні підкладки зумовлює виникнення зворотних зв'язків між окремими зв'язками, тобто призводить до не лінійності цієї системи. Як наслідок, в процесі осадження парів MO_3 виникають мимовільні зміни технологічних параметрів в цій зоні, які в залежності і від режиму носять (періодичний) коливальний характер, так і монотонний - проміжний і плавний це відображення у вигляді і горизонтально – шаруватості, що відповідає періодичному мимовільному характеру зміни параметрів, або у вигляді стовпчастих, або другої неперіодичної структури.

Були проведені дослідження структури гальваногазофазних покриттів, отриманих у вакуумі.

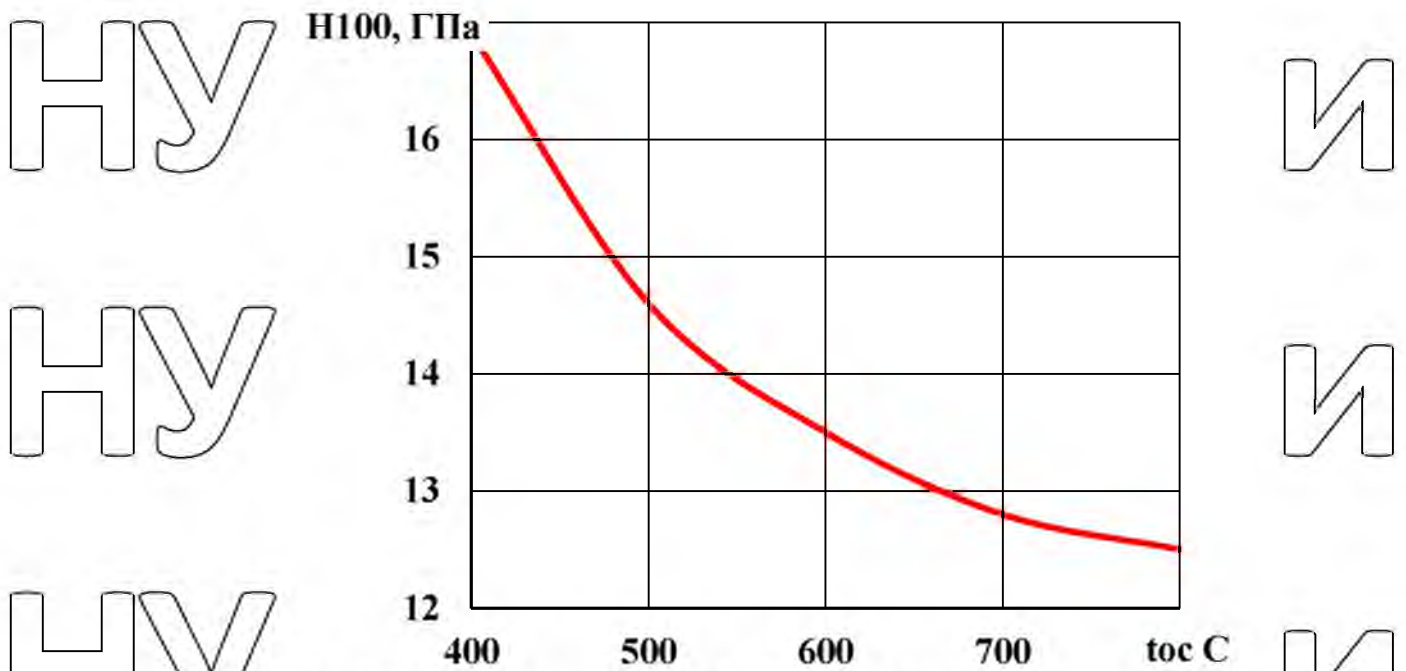


Рисунок 4.3 – Залежність мікротвердості гальваногазофазних покриттів від температури осадження.

При температурі підкладки 350-400°C, тобто реакція терморозпаду MO_3 на поверхні підкладки, формуються однофазні опади, що не травляться, які повністю аморфні по результатам мікрорентгеноспектрального аналізу ці опади сильно перенасичені вуглецем (до 1 5%), що узгоджується з іншими дослідженнями.

4.3.3. Дослідження зніплювання гальваногазофазного покриття

Необхідною умовою досягнення високої експлуатаційної надійності деталей з комбінованим покриттям (гальваногазофазним) є наявність адгезійного зв'язку між покриттям і підкладкою. Величина міцності зчеплення повинна забезпечувати працездатність покриття без його відділення від основи (адгезійного шару).

Виникнення адгезії, зокрема, на сталевих підкладках, може бути пояснена взаємною дифузією заліза і хрому через оксидну плівку [92]. Глибина зони взаємної дифузії приблизно 0,5-0,7 мкм. Для підвищення адгезійної міцності необхідно прагнути з однієї сторони до збільшення глибини взаємної дифузії за рахунок підвищення температури осадження.

За інтенсивної акустичної емісії, що виникає при адгезійному руйнуванні покриття при втисненні індентора твердоміра в поверхню покриття і подальшому руйнуванні індентора, оцінювали вплив технологічних параметрів осадження на адгезійну міцність (див. рисунок 2.12) (методика експерименту).

На рисунку 4.4 представлені залежності інтенсивної акустичної емісії, що виникає в покриттях залежно від температури осадження. Для покриттів максимальний рівень адгезійної міцності зареєстрований для діапазону температур осадження 400 -420 °С. Структура осаджених при цьому покриттів горизонтально-шарова. З підвищенням температури осадження інтенсивність акустичної емісії в покриттях різко збільшується, тобто адгезійна міцність опадів з ростом температури зменшується, не дивлячись на передбачувані збільшення глибини взаємної дифузії.

Перехід в більш високий температурний режим осадження обумовлюється отриманням достатньо крихких покриттів з сповічастою структурою, які мають високий рівень залишкових напружень при більшій концентрації напружень по товщині.

Але з ростом температури осадження до 460 °С спостерігається зниження рівня акустичної емісії, що може бути обумовлено збільшенням адгезійної міцності за рахунок збільшення глибини проникнення атомів хрому і заліза через оксидну плівку. Такі покриття володіють великою пластичністю і хорошою сцеплюваністю, при порівняно низькою твердості, тому в міру зростання температури осадження в меншій мірі впливає на рівень адгезійної міцності.

На рисунку 4.5 представлені залежності рівня акустичної емісії від відносної концентрації аміаку для покриттів, отриманих при температурі осадження 400 °С і 420 °С.

З ростом товщини покриттів в усіх випадках спостерігається підвищення рівня акустичної емісії, пов'язане зі зменшенням адгезійної міцності (рисунок 4.6).

Відомо, що з ростом товщини покриттів зростають залишкові напруги, збільшується нерівномірність їх розподілу по товщині, що обумовлює виникнення силових факторів в покриттях, що зменшують адгезійну міцність.

Проведено дослідження адгезійної міцності за методом стиснення циліндричних зразків з покриттями на 25%, які підтверджують в основному результати досліджень по методу реєстрації акустичної емісії.

На рисунку 4.7 представлені залежності адгезійної міцності від товщини покриття. Як і по першому методу з ростом товщини опадів спостерігається різке падіння адгезійної міцності покриття.

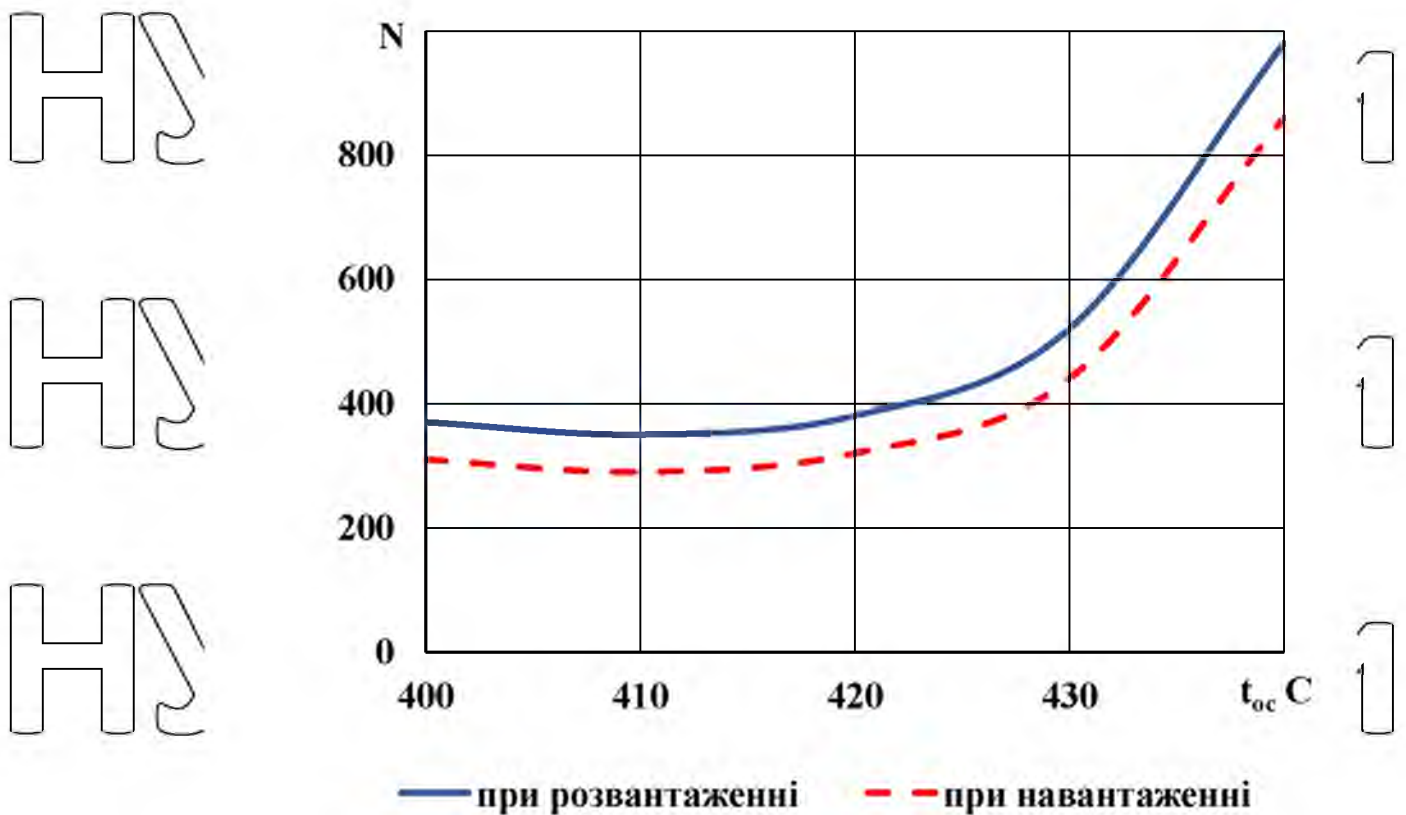


Рисунок 4.4 Залежність адгезійної міцності (по методу акустичної емісії) від температури осадження, $h = 1,2$ мкм

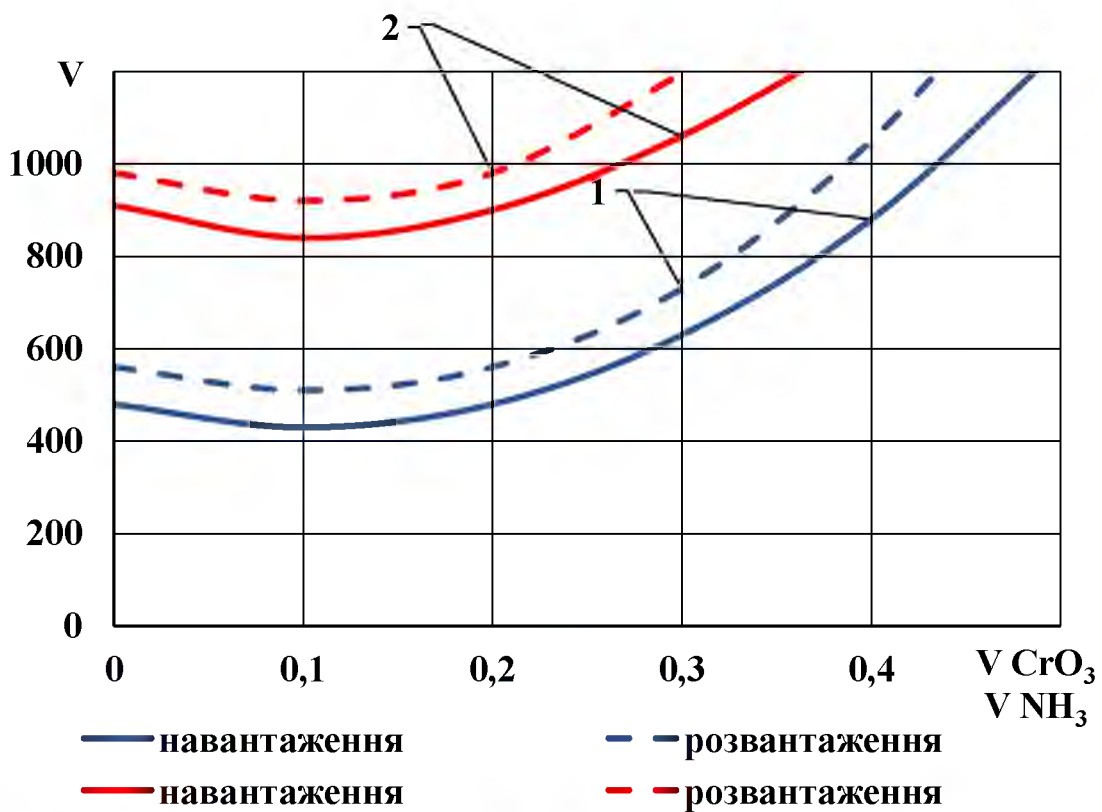


Рисунок 4.5 – Адгезійна міцність покриттів (по методу акустичної емісії) в залежності від відношення хромового ангідриду і аміаку при :
 1 – $t = 400^\circ C$;
 2 – $t = 420^\circ C$.

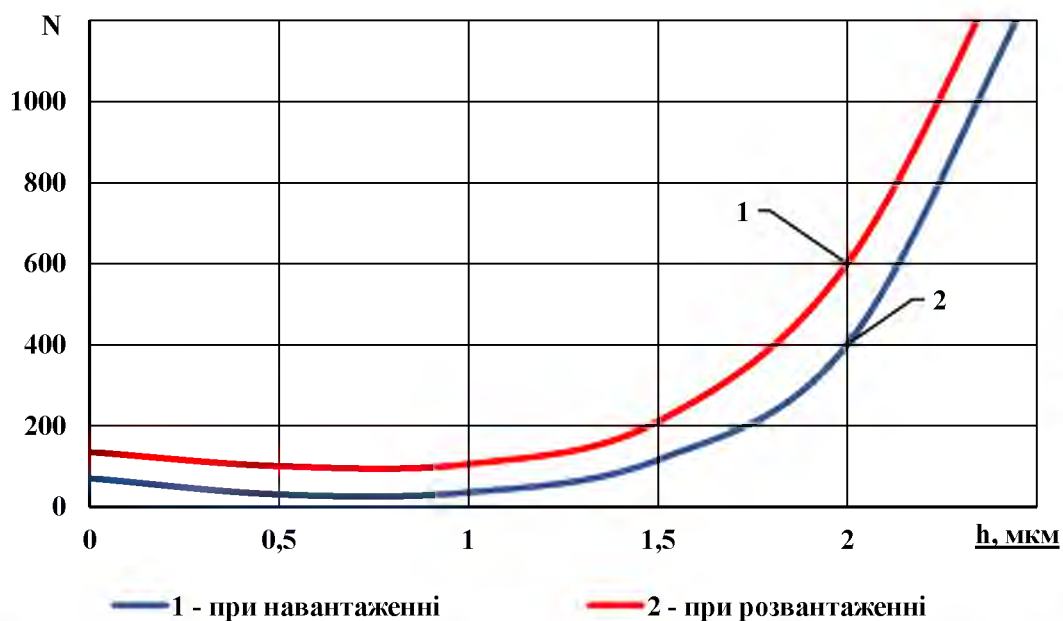


Рисунок 4.6 – Залежність адгезійної міцності покриттів (по методу акустичної емісії) від товщини покриття $t = 410^\circ C$

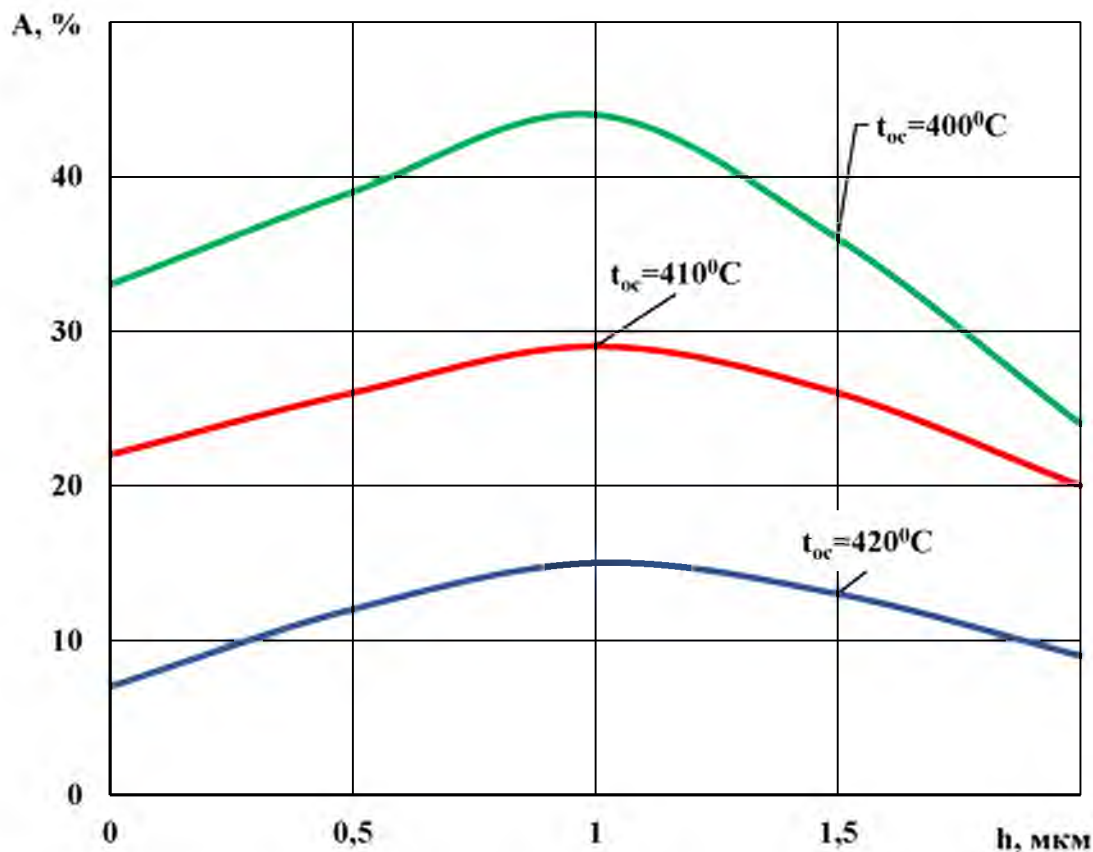


Рисунок 4.7 – Вплив покриття і відносної концентрації парів аміаку на адгезійну міцність $Cr(CO)_6 : NH_3=0,1$;

4.3.4. Дослідження залишкових напружень в гальваногазофазних хромових покриттях

Наявність залишкових напружень характерно для покриттів, що наносяться будь-якими способами [87]. Розрізняють залишкові напруження 3-х видів. Напруження I роду, що виникають в процесі виготовлення деталей, врівноважуються в обсязі всього тіла або його макро частин. Напруження II роду формуються в результаті фазової деформації окремих кристалів, зерен і врівноважуються в обсязі останніх. Напруження III роду врівноважуються в мікро об'ємах кристалічної решітки.

Напруга I роду часто називаються тепловими, напруги II і III роду – фазовими або структурними.

У покриттях зазвичай виникають напруження всіх видів, причому їх величина коливається в залежності від методу напilenня, технології напilenня, умов охолодження і т.д.

Характер розподілу, знак і рівень залишкових напружень впливають на механічні, хімічні та електрофізичні властивості покриттів. Найбільш важливим є взаємодія залишкових напружень на адгезійну міцність покриттів на підкладках.

Залишкові напруги викликаються кількома причинами: різницею коефіцієнтів термічного розширення матеріалів покриття і підкладки; зміною питомої обсягу структурних фаз; нерівномірністю розподілення товщини покриття по площі деталі і т.д. При охолодженні в покритті можливе утворення нормальних і дотичних до кордону розділу покриття і підкладки напружень. Коли коефіцієнт чи лінійного термічного розширення покриття менше ніж у підкладки, то в покривному утворюються залишкові напруги стиснення, які в певних межах сприятливо впливають на багато експлуатаційних характеристик. Велике число факторів, що впливають на формування залишкових напружень в покриттях і при поверхневих ділянках підкладки ускладнюють, теоретичні оцінки їх рівня і розподілу. В [29] проведено теоретичні та практичні оцінки, в результаті яких в хромових покриттях діють залишкові напруження стиснення.

На рисунку 4.8. наведені залежності середніх залишкових напружень від температури осадження в покриттях, при різній товщині гальваногазофазного покриття. У відповідності до теоретичних оцінок в покриттях діють напруги стиснення. Максимальні напруження стиснення досягаються при температурі осадження 500 °С. Структура покриттів вертикально стовпчаста. З подальшим зростанням температури осадження приріст залишкових напружень в покриттях не спостерігається, хоча з теоретичних оцінок вони повинні бути пропорційні температурі осадження. З подальшим зростанням температури

осадження може навіть спостерігатися поступове зменшення рівня залишкових напружень. Така зміна характерна залежності залишкових напружень в покриттях відображає остаточний перехід в дифузний режим осадження, і в результаті отримання покриттів, зі структурою крихких, погано зв'язаних між собою дендритів. Для таких покриттів характерна різка зміна таких параметрів, як модуль пружності, коефіцієнт лінійного термічного розширення, які обумовлюють падіння середнього рівня залишкових напружень.

Результати експерименту показують, що залишкові напруги збільшуються з ростом товщини покриття. Для покриттів товщиною 30 мкм у всіх режимах осадження середній рівень напружень значно більше, ніж для покриттів товщиною 10 мкм. (див. рисунок 4.9). Це обумовлено накопиченням в об'єом покриттів домішок вуглецю і кисню. В результаті, чим тонше покриття, тим менше залишкові напруження.

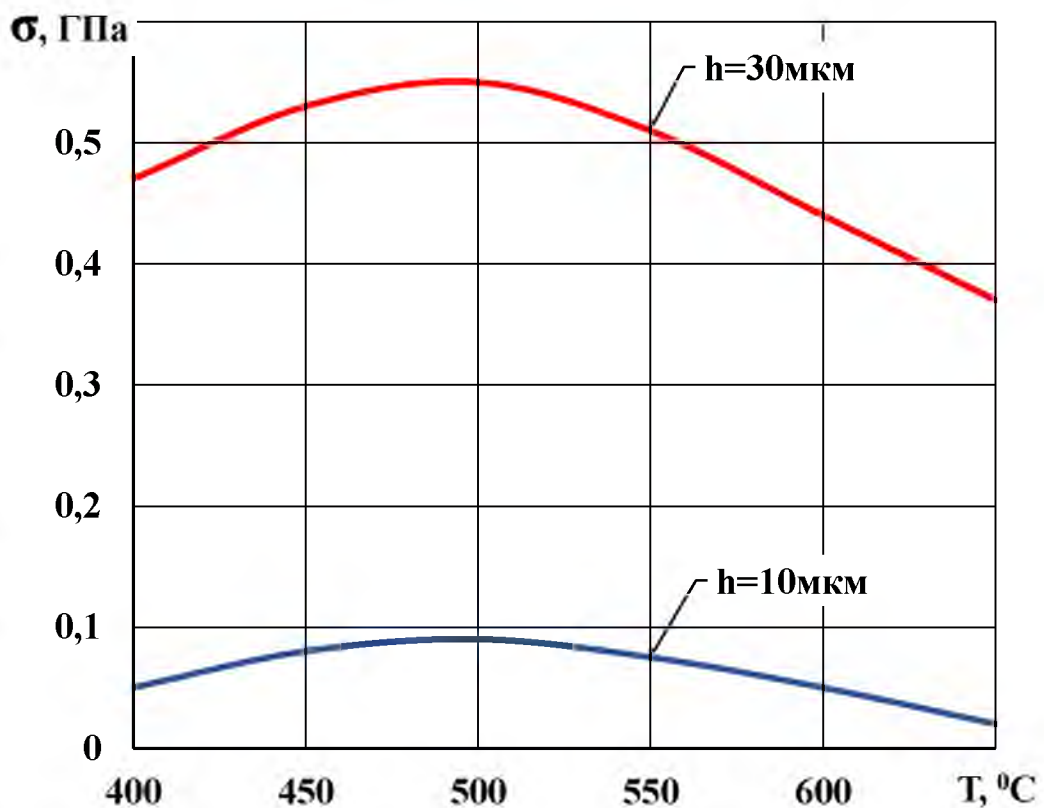


Рисунок 4.8 – Залежність залишкових напружень від температури осадження

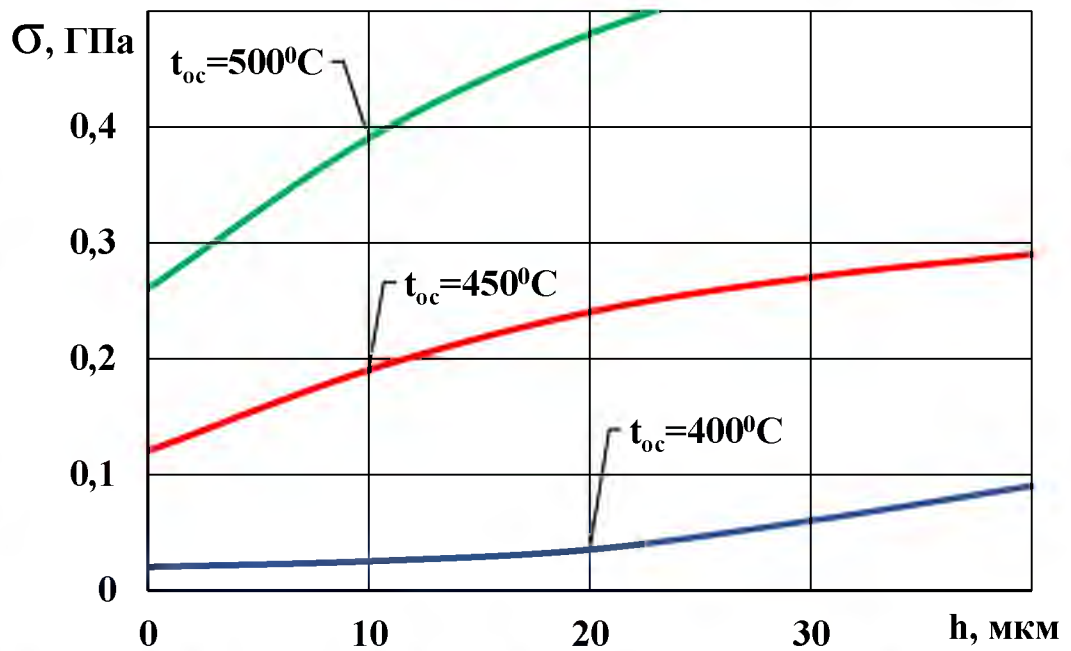


Рисунок 4.9 – Залежність залишкових напружень в гальваногазофазних покриттях від товщини покриття

4.4. Висновки

1. Якісні хромові покриття, отримані з газового середовища через карбоніл хрому формуються при наступних режимах: температура в реакційної камері – 412°C , температура сублиматора – 60°C , тиск – $2,1\text{ МПа}$, отримана товщина покриття – $0,115\text{ мм}$.

2. Максимальна мікротвердість комбінованого покриття $16,5\text{ ГПа}$, отримана при температурі осадження $400\text{--}420^{\circ}\text{C}$.

3. На основі досліджень мікроструктури і фазового складу побудована діаграма ймовірних режимів гальваногазофазних хромових покриттів.

4. Всі проведені дослідження підтверджують наявність фазової однорідності комбінованого покриття.

5. Підтвердилося експериментально, що легуючі добавки аміаку покращують властивості комбінованого покриття: в присутності аміаку ріст частинок по всіх напрямках стає більш рівномірним, покращується адгезія покриття і збільшується швидкість покриття $\approx 10\%$

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ЛАБОРАТОРНІ ТА СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦЯ.

5.1. Лабораторні випробування

Так як основним зносом поршневого пальця є абразивний, а небезпечним видом ушкоджень є схоплювання і стирання, то вся методика досліджень була підпорядкована з'ясуванню можливості використання комбінованого способу відновлення деталей машин на прикладі поршневого пальця.

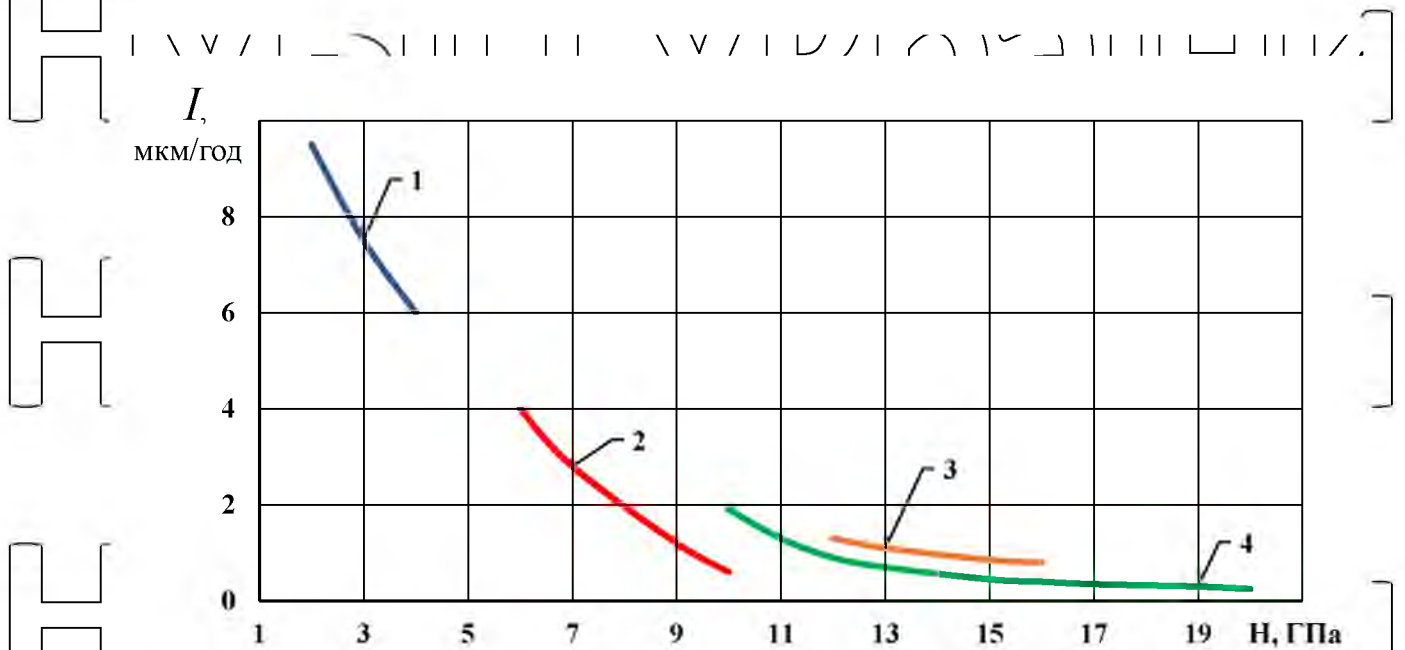
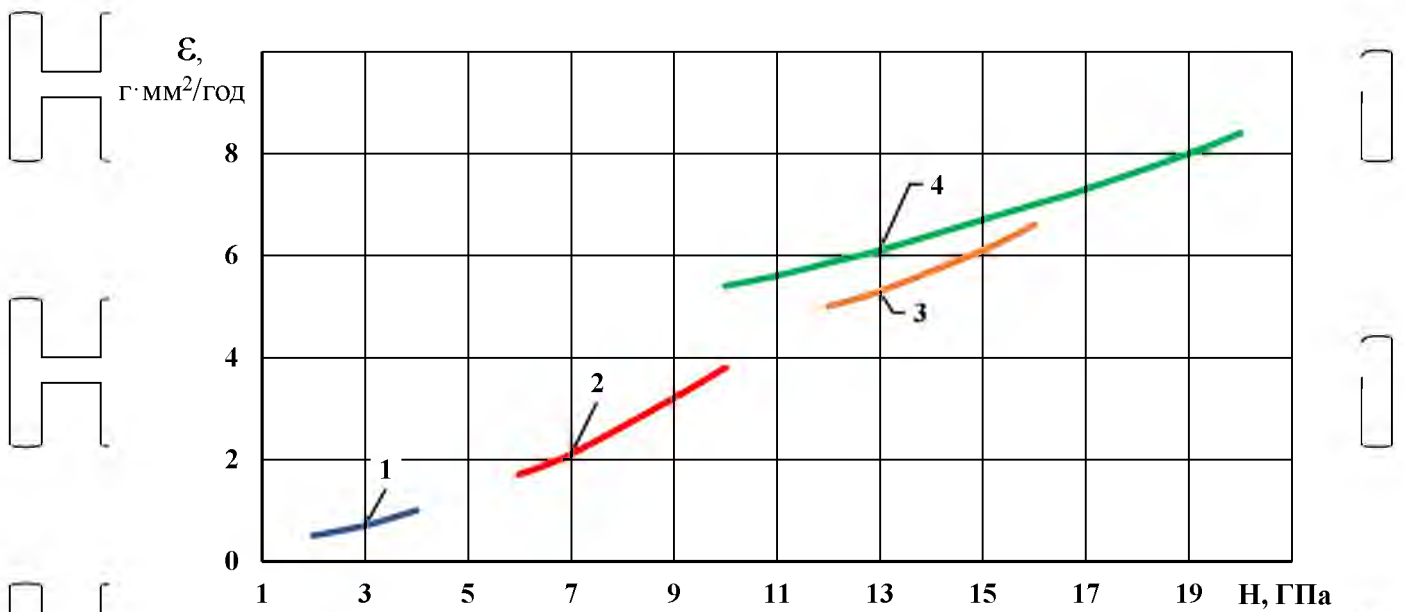
Відомо, що максимальною зносостійкістю володіють матеріали і покриття, які мають найбільшу мікротвердість.

Отримані експериментальні дані показують, що мікротвердість газофазного покриття перевищують мікротвердість гальванічного на 15-20%.

Враховуючи цю властивість, можна припустити, що зносостійкість буде вища гальванічного хрому.

Перший етап випробувань в лабораторних умовах показав, що, дійсно, висунуте припущення підтверджується. Як видно з рисунка 5.1, порівняльна зносостійкості отриманого нами комбінованого гальваногазофазного хромованого покриття в 1,2-1,3 рази вище гальванічного і на 10% вище газофазного.

Проведені в лабораторних умовах дослідження з парами із матеріалів СЧ21, 40ХН і бронзи на зчеплюваність в умовах граничного тертя при питомому навантаженні 5 МПа/м^2 показують виключну стійкість протидії счеплюваності



1 – сірі електричні хромові покриття;

2 – електролітичні хромові покриття;

3 – газофазне хромове покриття;

4 – гальваногазофазне покриття.

Рисунок 5.1 Відносна зносостійкість (ϵ) і інтенсивність зношування (I) для різних хромових покриттів.

Після зняття зразків з випробувань, контрольний візуальний огляд не виявив відколів і слідів виривання на поверхні комбінованого покриття.

Тому, по лабораторних випробуваннях можна зробити обґрунтоване
заключення про доцільність застосування гальваногазофазних покриттів для
відновлення деталей машин – поршневих пальців.

5.2. Стендові випробування

Стендові випробування проводилися відповідно до методики,
викладеної у другому розділі. Стендові випробування дозволяють оцінити
ступінь зносу різних хромових покриттів (рисунок 5.1.)

Отримані дані дозволяють судити про доцільність методу
гальваногазофазного хромування.

Інтенсивність зношування зменшується в порівнянні з серійним в 2-2,5
рази, а в порівнянні з гальванічним хромом на 20-30%.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦЯ

Для оцінки економічної ефективності вдосконалення технології відновлення поршневих пальців при капітальному ремонті двигунів внутрішнього згорання

Основними показниками економічної оцінки запропонованого методу: сума додаткових капіталовкладень, собівартість умовного ремонту, річний економічний ефект, час ступних додаткових капіталовкладень, річна продуктивності праці

Собівартість продукції повинна бути нижчою ніж в діючій дільниці. Це досягається шляхом підвищення технічного рівня виробництва.

6.1 Розрахунок вартості основних виробничих фондів

Основні виробничі фонди розбирально-складальної дільниці включають вартість приміщення, виробничого обладнання, інструменту, пристосувань та оснастки.

Вартість основних виробничих фондів визначаємо за формулою:

$$C_{o.f.} = C_{б\text{уд}} + C_{o,б.} + C_{ін}, \text{ грн.} \quad (6.1)$$

де $C_{б\text{уд}}$ – вартість існуючого приміщення, придатного для подальшої експлуатації, грн.;

$C_{o,б.}$ – вартість існуючого обладнання, грн.;

$C_{ін}$ – вартість інструменту, приладів, пристосувань.

Вартість існуючого приміщення розраховуємо за формулою:

$$C_{б\text{уд}} = C'_{б\text{уд}} \cdot S, \text{ грн.} \quad (6.2)$$

де $C'_{б\text{уд}}$ – середня вартість будівель-монтажних робіт, віднесених на 1 м²,
 $C'_{б\text{уд}} = 750 \text{ грн/м}^2$;

S – площа розбирально-складальної дільниці, м²;

$$C_{бод} = 750 \cdot 287,8 = 215850 \text{ грн.}$$

Вартість існуючого обладнання складає 40% вартості будівлі:

$$C_{обл} = 0,40 \cdot 215850 = 86340 \text{ грн.}$$

Вартість приладів, пристроїв, інструментів складає 75% вартості обладнання:

$$C_{ин} = 0,75 \cdot 86340 = 64755 \text{ грн.}$$

Тоді, вартість основних засобів буде рівною:

$$C_{оф} = 215850 + 86340 + 64755 = 308665 \text{ грн.}$$

Основні фонди існуючої розбирально-складальної дільниці (до реконструкції) складають 184337,6 грн. Тоді додаткові капіталовкладення

будуть становити:

$$\Delta = C_{ор} - C_{оі}, \text{ грн.}$$

$$\Delta = 308665,5 - 210008,2 = 95657,3 \text{ грн.}$$

6.2. Розрахунок собівартості розбирання двигуна

Собівартість відновлення одного двигуна визначаємо за формулою:

$$C_v = C_{з.п} + C_n + C_{п.в} + C_{ин}, \text{ грн.} \quad (6.3)$$

де $C_{з.п}$ – заробітна плата робочих з нарахуванням, грн.;

C_n – накладні витрати розбирально-складальної дільниці, грн.;

$C_{п.в}$ – позавиробничі витрати, грн.;

$C_{ин}$ – інші витрати, грн.

Структура заробітної плати має такий вигляд:

$$C_{з.п} = C_{о.з.п} + C_{д.з.п} + C_{п.з.п}, \text{ грн.} \quad (6.4)$$

де $C_{о.з.п}$ – основна заробітна плата, грн.;

$C_{д.з.п}$ – допоміжна заробітна плата, грн.;

$C_{п.з}$ – нарахування на заробітну плату, грн.
 Основна заробітна плата розраховується за формулою:

$$C_{о.з.п.} = \frac{C_{год.} \cdot T_n}{100}, \text{ грн.} \quad (6.5)$$

де $C_{год.}$ – середня тарифна ставка робітника зайнятого на розбирально-складальних роботах, становить 24,7/грн.;
 T_n – норма часу на розбирання одного двигуна, $T_n = 31,2$ год.;

$$C_{о.з.п.} = \frac{24,7}{100} \cdot 31,2 = 7,70 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата визначається за формулою:

$$C_{д.з.п.} = (0,05 - 0,08) \cdot C_{о.з.п.}, \text{ грн.} \quad (6.6)$$

де: $C_{о.з.п.}$ – основна заробітна плата.

$C_{д.з.п.} = 0,07 \cdot 18,1 = 0,54 \text{ грн.}$
 Нарухування на заробітну плату визначається за формулою:

Отже заробітна плата буде становити:

$$C_{зп} = C_{опн} + C_{дзп} + C_{пз}, \quad (6.7)$$

$$C_{зп} = 7,70 + 0,54 + 4,29 = 12,54 \text{ грн.}$$

Для капітального ремонту двигунів на оплату праці приходиться до 24% від вартості прямих затрат. За нормативними рекомендаціями визначаємо, що затрати на запчастини складають 51%, а матеріали 15%, інші витрати – 10%.

Виходячи з цього прями витрати будуть становити: $C_{пр} = 245$ грн.;
 Прямі витрати на розбирання двигуна будуть становити:

$$П_в = C_{з.п.} + C_{пр}, \text{ грн.};$$

$$П_в = 12,54 + 245 = 257,54, \text{ грн.}$$

Накладні витрати для дільниці будуть становити:

$$C_{п.в} = C_{з.п} + (K_у + K_з) \cdot C_{з.п}, \text{ грн.}, \quad (6.8)$$

де $K_у$ – коефіцієнт для визначення цехових накладних витрат, приймаємо $K_у = 0,85$;

$K_з$ – коефіцієнт для визначення заводських накладних витрат, приймаємо $K_з = 0,5$;

$$C_{п.в} = 12,54 (0,85 + 0,5) = 16,93, \text{ грн.}$$

Позавиробничі витрати будуть становити:

$$C_{п.в} = 2\% (H_в + H_д), \text{ грн.}; \quad (6.9)$$

$$C_{п.в} = 0,02 (257,54 + 16,93) = 5,5, \text{ грн.}$$

Тоді собівартість розбирання і складання одного двигуна буде становити:

$$C_в = C_{з.п} + C_{п.в} + C_{п.в} + H_в, \text{ грн.}; \quad (6.10)$$

$$C_в = 12,54 + 345 + 5,5 + 16,93 = 279,97 \text{ грн.}$$

Визначаємо повну собівартість двигунів за рік:

$$C_p = C_в \cdot P_{p-сд}, \text{ грн.};$$

$$C_p = 279,97 \times 200 = 55994, \text{ грн.}$$

6.2.1. Визначення річної оптової ціни

Для визначення річної оптової ціни потрібно враховувати такі відрахування:

- відрахування на науку;
- накопичення;
- податок на добавлену вартість.

Відрахування на науку становить:

$$C_{наук} = 1\% \times C_в, \text{ грн.}; \quad (6.11)$$

$$C_{наук} = 0,01 \times 279,97 = 2,8, \text{ грн.}$$

Накопичення буде становити:

$$C_{\text{нак}} = 20\% (C_v + C_{\text{наук}}), \text{ грн.} \quad (6.12)$$

$$C_{\text{нак}} = 0,2 (279,97 + 2,8) = 56,55, \text{ грн.}$$

ПДВ становить:

$$\text{ПДВ} = 20\% (C_v + C_{\text{наук}} + C_{\text{нак}}), \text{ грн.} \quad (6.13)$$

$$\text{ПДВ} = 0,2 (279,97 + 2,8 + 56,55) = 67,86, \text{ грн.}$$

Звідси оптова відпускна ціна буде становити:

$$C_{\text{опт}} = C_v + C_{\text{наук}} + C_{\text{нак}} + C_{\text{пдв}}, \text{ грн.} \quad (6.14)$$

$$C_{\text{опт}} = 279,97 + 2,8 + 56,55 + 67,86 = 407,18, \text{ грн.}$$

Визначаємо річну програму в оптових цінах:

$C_{\text{опт},p} = 407,18 \times 200 = 81436, \text{ грн.}$

6.3. Прибуток підприємства

Величину прибутку визначаємо за формулою:

$\Pi = C_{\text{опт},p} - C_{\text{в.р}}, \text{ грн.} \quad (6.15)$

$$\Pi = 81436 - 55994 = 25442, \text{ грн.}$$

6.4. Рентабельність підприємства

Рентабельність підприємства визначаємо за формулою:

$$P = \frac{\Pi}{C_{\text{о.ф}}} \cdot 100\% \quad (6.16)$$

$$P = \frac{25442}{308665,5} \cdot 100 = 8,24\%$$

6.5. Коефіцієнт фондівдачі

Коефіцієнт фондівдачі визначаємо за формулою.

$$K_{\phi} = \frac{C_{\text{онт}}}{C_{\text{о.ф}}} = \frac{81436}{308665,5} = 0,263 \quad (6.17)$$

6.6. Продуктивність праці у розрахунку на одного працюючого

Розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{н.р}} = \frac{C_{\text{онт.р}}}{N_{\text{роб}}}, \text{ грн;} \quad (6.18)$$

де $N_{\text{роб}}$ – кількість робітників на дільниці, чол.;

$$B_{\text{н.р}} = \frac{81436}{6} = 13572, \text{ грн.}$$

6.7 Випуск продукції на 1м² площі

Розраховуємо за формулою:

$$f_n = \frac{C_{\text{онт.р}}}{F_o}, \text{ грн.} \quad (6.19)$$

де F_o – площа дільниці, м²:

$$f_n = \frac{81436}{287,8} = 282,9 \text{ грн.}$$

6.8 Визначаємо величину річної економії

Визначаємо за формулою:

$$E_p = (C_{\text{онт}} - C_e) N_{\text{де}}, \text{ грн.}; \quad (6.20)$$

$$E_p = (407,18 - 279,97) 200 = 25442 \text{ грн.}$$

6.9 Річний економічний ефект

Визначення економічного ефекту від зниження собівартості ремонту за приведеними витратами для майстерні проводимо за наступними формулами:

$$E_{p.e.ф.} = (P_{i.сн} - P_{p.рек}) \cdot P_{ур}, грн., \quad (6.21)$$

$$P_{ур} = \frac{31,17 \cdot 200}{300} = 20,78 \text{ ум.рем.}$$

де 300 – трудомісткість одного умовного ремонту.
де $P_{рек}$ – приведені затрати існуючої бази.

$$P_{рек} = C'_{ур} + 0,15 \cdot \frac{C_o}{P_{ур}}, грн.; \quad (6.22)$$

$$P_{рек} = 279,97 + 0,15 \cdot \frac{308665,5}{20,78} = 2508 \text{ грн.}$$

Після технічного переоснащення майстерні та обґрунтування організаційних параметрів розбирально-складальної дільниці майстерні по ремонту двигунів

$$P_{i.сн} = C_{ур} + 0,15 \cdot \frac{C_o}{P_{ур}}, грн.; \quad (6.23)$$

$$P_{i.сн} = 460 + 0,15 \cdot \frac{210008,2}{11,5} = 3199,24 \text{ грн.}$$

Після проведених розрахунків, для розбирально-складальної дільниці з ремонту двигунів Д-245 маємо:

$$E_{p.e.ф.} = (3199,24 - 2508) \cdot 20,78 = 14363,9 \text{ грн.}$$

6.10. Окупність капіталовкладень

Визначасмо за формулою окупність додаткових капіталовкладень:

$$T = \frac{\Delta C_{o.ф.}}{E_p}, \text{ рік} \quad (6.24)$$

НУБІП України

$$T = \frac{95657.3}{25442} = 3,75 \text{ роки.}$$

НУБІП України

Таблиця 6.1

Техніко-економічні показники

№ п/п	Найменування	Значення
1	Річний випуск продукції:	
	- у натуральному обчисленні, шт.	200
	- в оптових цінах, грн.	81436
2	Повна собівартість продукції, грн.	55994
3	Основні фонди, грн.	308665,5
4	Загальна площа, м ² .	287,8
5	Загальна кількість працюючих, чел.	6
6	Прибуток	25442
7	Рентабельність	8,24
8	Коефіцієнт фондівдачі	0,263
9	Випуск продукції на 1м ² площі	282,9
10	Річний економічний ефект, грн.	14363,9
11	Окупність капіталовкладень, рік	3,75

Річний економічний ефект складає 14363,9 гривень. Витрати на вдосконалення технології відновлення поршневіх пальців при капітальному ремонті двигунів внутрішнього згоряння зможуть окупитися за 3,75 років

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень встановлено доцільність застосування методу гальваногазофазної металізації.

На основі чого запропоновано нова технологія відновлення поршневих пальців, що включає в відміну від стандартної технології гальваногазофазне покриття з легуванням аміаком, що забезпечує підвищення довговічності поршневих пальців на 15-20%. Таким чином, поставлена в роботі мета досягнута.

2. Експериментально доведено більш висока адгезійна здатність при нанесенні газофазного хрому на гальванічний, отриманий з стандартного електроліту. Максимальний вихід хрому по струму, рівний 13%, отриманий при наступних режимах: температура ведення процесу електролізу 50...55°C, катодна щільність струму 60...70 А/дм².

3. Експериментально підтверджено, що найбільшою мікротвердістю електролітичного хрому і зносостійкістю мають покриття, отримані при температурі електролізу 55°C і катодного щільність струму 70 А / дм². Отримані залежності між мікротвердістю, і зносостійкістю, внутрішніми напруженнями і структурою покриттів, які дозволили зробити висновок про доцільність використання досліджуваного електролітичного покриття в якості підкладки для нанесення газофазного хрому, оскільки гальванічний хром в чистому вигляді не забезпечує високі властивості міцності ЛЦ в умовах абразивного зносу.

4. Встановлено, що якісне нанесення газофазного хрому на підкладку виконується при наступних режимах насичення: температура нагріву зразка в реакційній камері – 400...420°C, початкова температура - 60°C, величина вакууму – 2,1...3,1 МПа.

5. Експериментально встановлено, що при газофазному хромуванні добавка газоподібного аміаку в співвідношенні $Cr(CO)_6 : NH_3 = 10 : 1$, пропущеного через сублиматор, значно покращує адгезію покриття при зростанні швидкості росту покриття на 10%.

6. На підставі досліджень визначено оптимальну товщина гальваногазофазного хрому 100...150 мкм, що володіє властивостями міцності, перевищуючи властивості гальванічного хрому в 1,3-1,5 рази. Покриття ГПІ, отримані гальваногазофазним хромуванням, мають мікротвердість 16,5 ГПа, максимальна адгезійна міцність зчеплення виходить при температурі осадження 400 ... 420 °С. При цьому можна отримувати покриття з заданими фізико механічними властивостями, структурою і морфологією.

7. Випробуваннями встановлено, що відновлення ГПІ гальваногазофазним хромуванням з легуванням аміаком забезпечує підвищення їх ресурсу в 1,3-1,5 рази по відношенню до відновленими гальванічним покриттям і в 2-2,5 рази в порівнянні з есрійними, при цьому економічний ефект складає 14363,9 гривень. Витрати на вдосконалення технології відновлення поршневих пальців при капітальному ремонт двигунів внутрішнього згорання зможуть окупитися за 3,75 років.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобільні двигуни / Под ред. Ховаха М.С. - М.: Машинобудування, 1977. - 591 с.
2. Авдеев М.В., Воловик С.Л., Ульман І.С. Технологія ремонту машин та устаткування. - М.: Агропромиздат, 1986. - 247 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановський Ю.В. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов. - М.: Наука, 1976. - 278 с.
4. Адоян Г.А., Герчиков А.М., Гіні Е.Ч. Основні параметри вібраційного старіння чавунних виливків // Ливарне виробництво. - 1966. - №3, - С. 28-31.
5. Амелін Д.В., Риморов Є.В. Нові способи відновлення і зміцнення деталей машин електроконтактні наварюванням. - М.: Агропромиздат, 1987. - 151 с.
6. Андронов С.Ф., Пахомов О.В. Напружений стан і міцність гільз циліндрів двигунів СМД-60 і СМД-62, відновлених контактної приварюванням сталевго листа / Відновлення деталей тракторів, автомобілів і сільськогосподарської техніки: Праці ГОСНІТИ. - Т.76. - М., 1985. - С. 3-9.
7. Антропов Б.С., Савельєв Г.М. Нові автотракторної дизелі ЯМЗ. - Ярославль, 1992. - 112 с.
8. Бабусенко С.М. Ремонт тракторів і автомобілів. - М.: Колос, 1980. - С. 153.
9. Барсуков Б.С. Дослідження впливу відхилень ступеня стиснення по циліндрах на основних параметри двигунів після капітального ремонту: Автореферат дис. канд. техн. наук. - М., 1967. - С.10.
10. Багишев А.Н., Голубев І.Г., Лялякін В.П. Відновлення деталей сільськогосподарської техніки. - М.: Інформатротех, 1995. - 294 с.
11. Березніков В.В., Перфильєв А.П. Дослідження тонких шарів еластомеру на стиск / Відновлення деталей машин, що використовуються в сільському господарстві: Зб. науч. тр. - Т. 69. - М.: ГОСНІТИ, 1983. - С. 105-109.
12. Біргер І.А. Залишкові напруги. - М.: Машиз, 1963. - 231 с.

13. Благов А.Т., Пупко В.Я. Відновлення зношених деталей тракторних і комбайнових двигунів. - М., 1967. - 36 с.

14. Блишников Л.Б., Козлов В.В., Тучинський Н.В. Рациональні режими старіння чавунних виливків / Передовий науково-технічний виробничий досвід. - 1958. - № М-58-112 / 5. - 13 с.

15. Болгінскій В.Н. Теорія, конструкція і розрахунок тракторних та автомобільних двигунів. - М.: Изд-во сільськогосподарської літератури, журналів і плакатів, 1962. - 392 с.

16. Великовантажні автомобілі КамАЗ / Под ред. Перельского А.К. - М.: Вища школа, 1993. - 303 с.

17. Боровиков В. STATISTICA: мистецтво аналізу даних на комп'ютері. - СПб.: Пігер, 2001. - 656 с.

18. Бородюк В.П., Лецько Е.К. Статистичний опис промислових об'єктів. - М.: Енергія, 1971. - 111 с.

19. Буйлов К.А. Вибір раціонального способу відновлення чавунних деталей / Підвищення надійності та ремонт сільськогосподарської техніки. Праці Кіровського сільськогосподарського інституту. - Перм, 1976. - С. 131-133.

20. Булгагов Ю.В. Розрахунково-експериментальна оцінка довговічності деталей за критерієм «навантаження - несуча здатність». Праці ГОСНИТИ. - Т. 62. - М., 1980. - С. 31.

21. Буренко Л.А., Винокуров В.Н. Ремонт сільськогосподарських машин. - М.: Росагропромиздат, 1991. - 204 с.

22. Вентцель Е.С. Теорія імовірності. - М.: Наука, 1969. - 576 с.

23. Вершинін В.В. Штучне старіння тракторних чавунних виливків // Ливарне виробництво. - 1971. - №12. - С. 3-5.

24. Вершинін В.В., проскури Н.Т. Термоциклічною обробка чавунних виливків деталей трактора // Ливарне виробництво. - 1970. - №10. - С. 5-6.

25. Вібраційні процеси і машини / Вібрації в техніці: Довідник в 6-ти томах - Т.4. / За ред. Е.Е. Лавендела. - М.: Машинобудування, 1981. - 509 с.

26. Воловик Є.Л. Довідник по відновленню деталей. - М.: Колос, 1981.-

351 с.

27. Воловик Є.Л. Еколого-економічні проблеми відновлення деталей //

Механізація та електрифікація сільського господарства. - 1985. - №4-5. - С. 12-15.

28. Воргунов К.В., Лямчев В.В., Чармосов В.І. Верстат для обробки отворів блоку циліндрів // Авторське свідоцтво №821072. - Бюл. №14 від 25.04.1981.

29. Воробйов С.К., Кір'янов Ю.П. Малогабаритний верстат для відновлення ліжок корінних підшипників блоку циліндрів // Патент ІШ 2157747 С2. - Бюл. №29 від 20.10.2000.

30. Відновлення автомобільних деталей полімерними матеріалами. - М.: Транспорт, 1974. - 179 с.

31. Відновлення деталей гальванопокриття на спеціалізованих ремонтних підприємствах / О.М. Батищев, І.Ф. Голубєв. - М.: Госаг-ропром СРСР, 1987. - 25 с.

32. Відновлення зношених деталей машин гальванічними і полімерними матеріалами: 36. наук. статей. - Кишенев, 1982. - 92 с.

33. Дайдишев І.Л. Аналіз і обробка даних: спеціальний довідник. - СПб: Пітер, 2001. - 752 с.

34. Гиршович Н.Г. Чавунне лиття. - М.: Металургиздат, 1949. - 708 с.

35. Гиршович Н.Г. Кристалізація і властивості чавуну у виливках. - М.-Л.: Машинобудування, 1966. - 562 с.

36. Глушков Т.С., Сіндєєв В.А. Курс опору матеріалів. - М.: Вища школа, 1965. - 768 с.

37. Гмурман В.Є. Теорія ймовірностей і математична статистика. - М.: Вища школа, 2002. - 479 с.

38. Гоц А.М., Некрасов С.І. Удосконалення мікрогеометрії поверхні під вкладиші кривошипної головки шатунів тракторного дизеля і прискорення

оцінка їх надійності / Проблеми вдосконалення тракторних і комбайнових двигунів. Зб. науч. тр. ЦНІТИ. - Л., 1986. - С. 107.

39. Грановський Г.І., Грановський В.Г. Різання металів. - М.: Вища школа, 1985. - 304 с.

40. Григор'єв М.А., Донецький Б.А. Вітчизняний і зарубіжний досвід підвищення надійності і довговічності автомобільних двигунів. - М.: НДІАВТОПРОМ. НАМИ, 1973. - 177 с.

41. Григор'єв М.А., Пономарьов М.М. Знос і довговічність автомобільних двигунів. - М.: Машинобудування, 1976. - 248 с.

42. Григорян Ю.Г. Дослідження працездатності корінних підшипників двигуна ЗІЛ-130 з метою обґрунтування технічних умов на капітальний ремонт: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1971. - 25 с.

43. Гуров А.М., Коваль О.В. До обґрунтування технології відновлення деталей машин / Відновлення деталей при ремонті машин: Зб. наук. тр. - Вип. 3. - Благовещенськ, 1977. - С.3-6.

44. Дагіс З.С. Спосіб відновлення рознімних корпусів підшипників // Авторське свідоцтво Бі 1189634 А. - Бюл. №41 від 07.11.85.

45. Данильченко Б.В. Наплавлення. - Київ: Наукова думка, 1983. - 76 с.

46. Двигуни внутрішнього згоряння. Конструювання. Обрахунок на міцність поршневіх і комбінованих двигунів // Под ред. Орліна А.С., Круглова М.Г. - М.: Машинобудування, 1984. - 383 с.

47. Деревки А.І. Відновлення і зміцнення зношених деталей: Оглядова інформ. ЦНІТЕІ в / о Союзсельхозтехника. - М., 1976. - 62 с.

48. Дмитрієв А.В., Тренін В.Ф. Спосіб відновлення поверхні деталі з отворами // Авторське свідоцтво SU 1608031 А1. - Бюл. №43 від 23.11.1990.

49. Додж М., Стінсон К. Ефективна робота з Microsoft Excel 2000. - СПб.: Питер, 2000. - 1056 с.

50. Дорожкін М.М., Гімельфарб В.Н., Відновлення деталей сільськогосподарських машин. - Мінськ: Ураджай, 1987. - 140 с.

51. Обладунків Б.А. Основи статистичної обробки результатів досліджень / Методика польового досвіду. - М.: Колос, 1973. - С. 135-199.

52. Доненко Н.І. Відновлення автомобільних деталей зварюванням і наплавленням. - М.: Транспорт, 1972. - 351 с.

53. Дроздов А.В., Ачкасов К.А., Михальченко А.М. Резерви підвищення експлуатаційних показників відповідальних чавунних деталей сільськогосподарської техніки // Надійність і ремонт машин: 36. науч. тр. - М., 1994.-С. 16-20.

54. Дюмін І.Є., Какуєвській В.А., Сілкін А.С. Сучасні методи організації і технології ремонту автомобілів. - Київ: Техніка, 1974. - 520 с.

55. Дюмін І.Є. Підвищення ефективності ремонту автомобільних двигунів. - М.: Транспорт, 1987. - 176 с.

56. Дюмін І.Є., Трегуб Г.Г. Ремонт автомобілів. - М.: Транспорт, 1998.- 280 с.

57. Єгоров Н.І., Шилов Г.Т., Синельников Б.І., Єгоров В.П. Спосіб відновлення гнізд корінних підшипників блоків циліндрів двигунів // Авторське свідоцтво SU 1118514 А. - Бюл. №38 від 15.10.1984.

58. Ялинників А.І., Тарасова В.П. Вивчення природного і штучного старіння лиття струним методом // Заводська лабораторія. - 1935. - №7. - С. 25-29.

59. Єрмаков Ю.М., Фролов Б.А. Металорізальні верстати. - М.: Машинобудування, 1985. - 319 с.

60. Єрмолов Д.С., Ісиченко І.А., Поліський А.Я., Трофимов В.Л. Ремонт двигунів СМД. - М.: Колос, 1969. - 320 с.

61. Єрошкін В.Г., Дагіс З.С. Спосіб відновлення рознімних корпусів підшипників // Авторське свідоцтво № 1821324 від 07.05.1991.

62. Жданівський Н.С., Ніколаєнко А.В. Надійність і довговічність автотракторних двигунів. - Л.: Колос. Ленінгр. отд-ня, 1981. - 295 с.

63. Железко Б.С., Адамов В.М., Русецький І.К., Язубенко Г.Я.
Розрахунок і конструювання автомобільних і тракторних двигунів: - Мінськ :
Вища школа, 1987. - 246 с.

64. Завадський Ю.В. Методика статистичної обробки
експериментальних даних. - М.: МАДІ, 1973. - 98 с.

65. Зайцев Н.В., Акімов А.П. Експлуатація та ремонт
МАШИНОТРАКТОРНА парку. - М.: Кодос, 1993. - 349 с.

66. Зуєв А.А., Соколов В.П., Ліленко М.К., Кахідзе А.Г., Циплаков В. Г.,
Поляченко А.В., Вальдман Т.Ю., Кавин В.П. Спосіб відновлення гнізд
корінних підшипників блоків циліндрів і пристрій для його здійснення //
Авторське свідоцтво БІ 1235691 А1. - Бюл. №21 від 07.06.1986.

67. Іванов В.П. Підвищення якості ремонту блоків циліндрів
автомобільних двигунів // Двигунобудування. - 1990. - №11. - С. 41-42.

68. Іванов В.П. Удосконалення організації відновлення деталей // Весщ
Академі аграрних наук республіки Білорусь. - 2001. - №4. - С. 97-102.

69. Какуєвіч В.А. Відновлення деталей автомобілів на
спеціалізованих підприємствах. - М.: Транспорт, 1988. - 149 с.

70. Какуєвіч В.А. Дослідження питань централізованого відновлення
деталей машин. Автореф. дисс ... доктора техн. наук. - М., 1972. - 43 с.

71. Какуєвіч В.А. Ресурсозберігаючі технології відновлення деталей
автомобілів. - М.: Транспорт, 1993. - 176 с.

72. Какуєвіч В.А. Удосконалення відновлення деталей автомобільних
двигунів. - М.: Транспорт, 1982. - 62 с.

73. Калашников А.Г. Ремонт базисних деталей тракторів. - Київ:
Урожай, 1965. - 280 с.

74. Карагодін В.І., Карагодін Д.В. Пристрій, технічне обслуговування
та ремонт автомобілів КамАЗ. - М.: Транспорт, 1997. - 310 с.

75. Кац Г.В., Ковальов О.П. Техніко-економічний аналіз та оптимізація
конструкцій машин. - М.: Машинобудування, 1981. - 214 с.

76. Кільмязкін Е.А. Відновлення шатунів автотракторних двигунів комбінованим методом: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Саранськ, 2001. - 17 с.

77. Кислик В.А., Ларик Т.В. Термічна обробка сірого чавуну. - М.: Трансжелдориздат, 1948. - 16 с.

78. Козлов Ю.С. Технічне обслуговування та ремонт машин в сільському господарстві. - М.: Вища школа, 1980. - 222 с.

79. Колесніков В.П. Дослідження деформацій і напружень при місцевому нагріванні посадочних місць корпусних деталей: Праці ГОСНИТИ. - Т. 49. - М., 1976. - С. 125-130.

80. Колчин А.В., Буренко Л.А., Айдамиров О.М. Засоби екологічного забезпечення і охорони праці при експлуатації техніки на підприємствах АПК // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2000. - №10. - С. 2-

6.

81. Кондратьєв Б.П., Кондратьєв В.С. Відновлення наплавленням деталей сільськогосподарських машин. - М.: Агропромиздат, 1989. - 85 с.

82. Конкін Ю.А. Практикум з економіки ремонту сільськогосподарської техніки. - М.: Колос, 1973. - 191 с.

83. Корчемкін П. А. Технологія відновлення чавунних деталей тракторів і сільськогосподарських машин електродуговим зварюванням: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Благовещенськ, 1997. - 22 с.

84. Котін А.В., Шепс Е.Р. Спосіб відновлення отворів корпусних деталей // Авторське свідоцтво 8и 1632722 А1. - Бюл. №9 від 07.03.1991.

85. Коцюбинський О.Ю. Стабілізація розмірів чавунних виливків. - М.: Машинобудування, 1974. - 297 с.

86. Коцюбинський О.Ю. Дослідження викривлення виливків з сірого чавуну від релаксації залишкових напружень і дії тимчасових навантажень: Автореф. дис. канд. техн. наук. - М., 1964. - 28 с.

87. Коцюбинський О.Ю. Викривлення чавунних виливків від залишкових напружень. - М.: Машинобудування, 1965. - 175 с.

88. Коцюбинський О.Ю., Герчиков А.М. Вібраційне старіння чавунних виливків // Ливарне виробництво. - 1961. - №8. - С. 31-34.

89. Коцюбинський О.Ю., Оберман Я.І. Вплив графітових включень на пластичну деформацію і викривлення чавунних виливків // Ливарне виробництво. - 1967. - №4. - С. 32-38.

90. Коцюбинський О.Ю., Оберман Я.І., Герчиков А.М. Новий метод старіння чавунних виливків за допомогою термічних напруг // Ливарне виробництво. - 1962. - №4. - С. 41-42

91. Криворучко М.С. Ефективність ремонтів автомобільних двигунів із застосуванням деталей, виготовлених на машинобудівних заводах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Пушкін, 1974. - 16 с.

92. Кричевський М.Є. Застосування полімерних матеріалів при ремонті сільськогосподарської техніки. - М.: Росагропромиздат, 1988. - 143 с.

93. Кряжков В.М. Застосування металізації напиленням для відновлення внутрішніх циліндричних поверхонь автотракторних двигунів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Л., 1957. - 21 с.

94. Кряжков В.М., Малишев В.І. Вибір раціонального способу відновлення зношених деталей конкретної номенклатури: Лекція. - Ленінград-Пушкін, 1978. - 16 с.

95. Кряжков В.М. Надійність і якість сільськогосподарської техніки. - М.: Агропромиздат, 1989. - 335 с.

96. Кудрявцев П.І. Залишкові напруги і міцність з'єднань.- М.: Машинобудування, 1964. - 95 с.

97. Курчаткин В.В. Відновлення посадкових місць підшипників полімерними матеріалами. - М.: Вища школа, 1983. - 80 с.

98. Курчаткин В.В., Кудрявцев В.І., Башкирцев В.І. Полімерні композиційні матеріали для ремонту сільськогосподарської техніки // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 1999. №9. - С. 24-27.

99. Лавринович М.Ф., Шустерняк М.М. Підвищення зносостійкості деталей машин напиленням і наплавленням. - Мінськ: Белорусь, 1985. - 142 с.

100. Лангерт Б.А. Ремонт чавунних корпусних деталей автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин зварюванням. - Київ: Урожай, 1971. - 74 с.

101. Лезін П.П., Котин А.В., Василькін Ю.І., Крисанов А.А., Панков А.І., Феофанов В.А. Спосіб відновлення отворів в корпусних деталях шляхом нанесення полімерний композит // Авторське свідоцтво № 1712П18 від 27.12.1988.

102. Литовкин В.Н., Підлісник В.В. Пристрій для розточування гнізд корінних підшипників і втулок розподільного вала блоку циліндрів двигунів // Патент КР 2127657 С1. - Бюл. №8 від 20.03.1999.

103. Ликов А.В. Теорія теплопровідності. - М.: Вища школа, 1967. - 599

с.

104. Лялякін В.П. Концепція розвитку ремонту техніки на базі відновлення і зміцнення деталей // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2001. - №6. - С. 2-7.

105. Масин М.А. Організація відновлення автомобільних деталей. - М.: Транспорт, 1981. - 176 с.

106. Маслов М.М. Ефективність і якість ремонту автомобілів. - М.: Транспорт, 1981. - 304 с.

107. Маслов М.М., Лкжсютов Ф.В. Охорона праці на авторемонтних підприємствах, безпеку праці - Київ: Техніка, 1982. - 166 с.

108. Матвеев В.А., Пустовалов П. Технічне нормування ремонтних робіт у сільському господарстві. - М.: Колос, 1979. - 288 с.

109. Мельников А.А. Розрахунок терміну служби блоків циліндрів двигунів внутрішнього згоряння до появи тріщин і способи їх ремонту // Відновлення деталей машин, що використовуються в сільському господарстві: 35. науч. тр. - Т. 62. - М.: ГОСНИТИ, 1980. - С. 23-30.

110. Методика економічної оцінки сільськогосподарської техніки / Под ред. Н.С. Власова. - М.: Колос, 1979. - 399 с.

111. Методичні вказівки по вибору раціональних варіантів технологічних процесів відновлення деталей вантажних автомобілів / Л.В. Дехтеринській, В.П. Крюков, Л.М. Одоевцева і ін. - М.: МАДІ, 1979. - 82 с.

112. Мікотін В.Я. Технологія ремонту сільськогосподарських машин та устаткування. - М.: Колос, 1997. - 367 с.

113. Мірзоян Х.А., Лялякін В.П., Бугрова В.В. Визначення внутрішніх напружень в корінних опорах блоку циліндрів, відновленого контактної приварюванням тонкої стрічки: Праці ГОСНИТИ. - Т. 62. - М., 1980 - С.100-107.

114. Митропольський А.К. Техніка статистичних обчислень. - М.: Наука, 1971. - 576 с.

115. Мішин І.А. Довговічність двигунів. - Л.: Машинобудування, 1968. - 260 с.

116. Михалевич В.С., Кукса А.И. Методи послідовної оптимізації. - М.: Наука, 1983. - 206 с.

117. Мовнін М.С., Ізраїля А.Б., Рубашкін А.Г. Основи технічної механіки. - Л.: Машинобудування, 1979. - 288 с.

118. Музичук А.М. Вплив деформації блоків циліндрів на термін служби двигунів ГАЗ-51 після ремонту: Тр. ГОСНИТИ, 1963. - Т.3. - С.87-101.

119. Музичук А.М. Дослідження деформації блоку циліндрів двигуна ГАЗ-51 і особливостей його подальшого ремонту: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1964. - 18 с.

120. Муравйов Г.С. Відновлення автотракторних деталей методом газодетонаційного напилення: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Новосибірськ, 1995. - 15 с.

121. Наукові основи технічної експлуатації сільськогосподарських машин. - М.: ГОСНИТИ, 1996. - 360 с.

122. Нейбера Г.Н. Концентрація напружень. - М.-Л. : Гостехиздат, 1947.-
204 с.

123. Некрасов С.С. Обробка матеріалів різанням. - М. : Колос, 1997. - 320
с.

124. Ніколаєнко А.В. Теорія, конструкція і розрахунок автотракторних
двигунів. - М. : Колос, 1984. - 335 с.

125. Новачків П.В. Термоциклічною старіння чавунних виливків при
200-280 ° // Ливарне виробництво. - 1970. - №10. - С. 31-35.

126. Нові технічні засоби для ремонту машин, відновлення деталей і
технічного обслуговування машинно-тракторного парку колгоспів: Каталог. -
Ч. 3. М. : Госагропромиздат, 1986. - 126 с.

127. Обладнання ремонтних підприємств. За ред. Б.В. Курчаткіна. - М.
.: Колос, 1999. - 232 с.

128. Одінга І.А. Релаксація і повзучість металів // Вісник
машинобудування. - 1946. - №5-6. - С. 25-35.

129. Одінга І. А. Релаксація і повзучість металів // Вісник
машинобудування. - 1946. - №7-8. - С. 1-11.

130. Одінга І.А. Релаксація і повзучість металів // Вісник
машинобудування. - 1946. - №9-10. - С. 1-10.

131. Ойхберг Л.Б., Гарчунас Г.С., Зомба Г.А., Кисельов А.Т., Серебряков
А.А. Пристрій для обробки отворів в блоках циліндрів двигунів // Авторське
свідоцтво БІ 1204329 А. -Бюл. №2 від 15.01.1986.

132. Олешковичі Е.П., Кононович І.М. Нове в технології футерування
пластмасою підшипників ковзання сільськогосподарських машин. Зб. наук.
тр. - Відновлення і зміцнення деталей сільськогосподарської техніки. - Гірки,
1989. - С. 21-27.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України
ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України