

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процеси, машини і обладнання

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

НЕВЕРЕЦЬ ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.793

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Технологія відновлення і зміцнення поверхонь типу «вал»
двигунів внутрішнього згорання**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Є. О. Неверець

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Неверець Євген Олександрович. Технологія відновлення і зміцнення поверхонь типу «вал» двигунів внутрішнього згорання. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що якісні хромові покриття осідають з газової фази гексакарбоніла хрому при температурі нагріву деталей ~ 430 °С і температурі сублимації карбоніла 50-60 °С на підшарку гальванічного блискучого хрому. Переважно використання пористого подшарку з порами каналчатого типу і з однаковою просторовою орієнтацією кристалів (епітаксіальні покриття).

Встановлено, що для досягнення високої зносостійкості деталі недостатньо тільки високою мікротвердістю або високою адгезією до підкладки, а необхідно оптимальне співвідношення цих характеристик міцності.

Виявлено, що проведення анодного травлення гальванічного хромового підшарку перед нанесенням зміцнюючого шару з газової фази підвищує адгезійну міцність на 15-20% в порівнянні з покриттям без анодного травлення. Марки сталей відновлюваних деталей надають мінімальний вплив на міцність зчеплення покриттів з основою в межах 2-3%, проте, перевага віддається сталям зі зниженим вмістом вуглецю легованих хромом. Це дозволяє рекомендувати гальваногазофазне хромування для відновлення і зміцнення поверхонь валиків водяних насосів практично всіх марок автомобілів.

Ключові слова: *газофазна металізація, хром, зносостійкість, мікротвердість, сталь.*

ANNOTATION

Neverets Yevhen Oleksandrovysh. Technology of restoration and strengthening of surfaces of type "shaft" of internal combustion engines. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is established that high-quality chromium coatings are deposited from the gas phase of chromium hexacarbonyl at a heating temperature of ~ 430 ° C and a sublimation temperature of carbonyl 50-60 ° C on a sublayer of galvanic shiny chromium. Preferably the use of a porous sublayer with pores of the tubular type and with the same spatial orientation of the crystals (epitaxial coatings).

It is established that high microhardness or high adhesion to the substrate is not enough to achieve high wear resistance of the part, and the optimal ratio of these strength characteristics is necessary.

It was found that the anodic etching of galvanic chromium subcoupling before applying the reinforcing layer of the gas phase increases the adhesive strength by 15-20% compared to the coating without anodic etching. Steel grades of renewable parts have a minimal effect on the bond strength of coatings with the base in the range of 2-3%, however, preference is given to steels with low carbon content doped with chromium. This allows us to recommend galvanized gas chrome plating to restore and strengthen the surfaces of the rollers of water pumps of almost all brands of cars.

Key words: gas-phase metallization, chromium, wear resistance, microhardness, steel

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ».....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

Експлуатація машин без добре організованого відновлення деталей, практично неможлива, тому що виникає необхідність мати велику кількість нових запасних частин в пропорціях, які важко піддаються попередньому плануванню. Відновлення деталей машин забезпечує економію високоякісного металу, енергетичних і трудових ресурсів, а також раціональне використання природних ресурсів і охорону навколишнього середовища.

Як широко відомо в практиці, а також підтверджено численними дослідженнями [1], найбільш зносостійкими є поверхні відновлені хромовими покриттями. Хромування є найбільш досконалим методом відновлення зношених деталей машин. Виключно високі властивості хромового покриття – твердість, зносостійкість і хімічна стійкість – забезпечили цьому методу швидке і широке впровадження в усі галузі машинобудування, в тому числі і в ремонтному виробництві з використанням методів гальванічної і газофазної металізації.

Однак поширення гальванічних методів нанесення хромових покриттів стримується низкою недоліків [1-7]: мала швидкість осадження хрому; нерівномірна товщина одержуваних опадів; дефіцитність хромового ангідриду; висока вартість хромування; висока агресивність хромових електролітів; низька екологічність процесу.

Високі якості хромових покриттів з одного боку і наявність ряду негативних показників процесу гальванічного хромування, з іншого, вимагають проведення ряду дослідних і теоретичних робіт з комбінованого застосування гальванічного хромування в поєднанні з іншими технологічними процесами.

У той же час, практика показує, що в багатьох випадках доцільно використовувати інші методи, зокрема хімічні.

Останнім часом в ремонтному виробництві набуває популярності парофазний (або газофазний) метод термічного розкладання легколетких

металоорганічних з'єднань [4-7], що дозволяє отримувати металеві шари при температурах, набагато нижче температур плавлення цих металів і сплавів. Найбільш перспективними в якості вихідних речовин є карбоніли металів і їх з'єднання.

Мета і задачі дослідження. Мета досліджень полягає в підвищенні міцності поверхонь деталей типу «вал» двигунів внутрішнього згорання шляхом розробки технології відновлення і зміцнення даних деталей гальваногазофазним хромуванням.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз існуючих методів відновлення деталей типу «вал» та визначити найперспективніші з них;
- Розробити методику досліджень фізико-механічних та триботехнічних властивостей покриттів;
- Провести дослідження та проаналізувати отримані результати

Об'єкт дослідження: технологічний процес відновлення і зміцнення поверхонь деталей типу «вал» двигунів внутрішнього згорання гальваногазофазним хромуванням.

Предмет дослідження: закономірності зміни фізико-механічних та триботехнічних характеристик нанесених покриттів гальваногазофазним хромуванням.

Методи дослідження. Досліджено виконано з використанням методів механіки, триботехніки, хімотології та прикладної фізики. Обробку експериментальних методів виконували із застосуванням математичної статистики, методики планування та обробки експерименту за допомогою прикладних програм на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Неверець Є. О.** Методи відновлення деталей типу «вал». Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції

розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С.

2. **Неверець Є. О.** Результати дослідження фізико-механічних властивостей газофазових покриттів. *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 226-228

3. **Неверець Є. О.** Методика дослідження фізико-механічних властивостей газофазових покриттів. IX Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (5-24 жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020. [Електроний ресурс] – <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впроваджені в ремонтних майстернях аграрних підприємств при ремонті деталей типу «вал».

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменування. Загальний обсяг роботи становить 31 сторінок комп'ютерного тексту містить 2 таблиці та 7 рисунків.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ»

Основними вимогами, які необхідно виконати при відновленні деталей типу «вал» [1-7], в тому числі і вала водяного насоса, є забезпечення розмірів і шорсткості відновлюваних поверхонь, їх твердості, суцільності покриття, міцності зчеплення нанесених шарів з основним металом, а також симетричності, співвісності, биття оброблених поверхонь, паралельності бічних поверхонь пазів шпон.

Знос пазів шпонок ц валиках усувається їх заваркою і нарізуванням нових з протилежного боку. Зношену або пошкоджену різьбу на валику обточують і нарізають різьбу меншого ремонтного розміру з виготовленням відповідної гайки під ці різьблення.

Основним дефектом, що обмежує ресурс валиків водяних насосів, є знос і корозія поверхонь під крильчатку, підшипники і ущільнення. У зв'язку з цим постає завдання нарощування цих поверхонь на незначні величини, але з забезпеченням високих фізико-механічних властивостей (твердість, адгезія, зносостійкість, корозійна стійкість і ін.) відновлених деталей і з малими ремонтними витратами. Як відомо, знос деталей має невеликі значення (40-230 мкм).

Для відновлення зношених поверхонь деталей типу «вал» в ремонтному виробництві застосовуються різні методи (зварювальнаплавліювальні, хімічні і електрохімічні, термічні і хімікотермічні, вакуумні і ін.) [6]. Кожен з них має свої переваги і недоліки, що і визначає його застосування в тому чи іншому випадку в залежності від умов експлуатації відновлюваних деталей.

1.1. Наплавлення. Вже довгий час в ремонтному виробництві для відновлення даних деталей застосовується ручна дугова наплавка покритими електродами марки ЕНХ-30 [6]. Це – універсальний, придатний для

наплавлення деталей різної форми і призначення у всіх просторових положеннях метод.

Він дозволяє отримувати наплавлені шари з твердістю близько 30 HRC. Легування наплавленого металу виконується через стрижень електрода і (або) через його покриття (обмазку).

Цей метод набув популярності в ремонтному виробництві завдяки своїм перевагам. Це простота і доступність обладнання та технології, які є майже в будь-якому господарстві і можливість отримання наплавленого металу практично будь-якої системи легування.

Однак, використання його для відновлення валів водяних насосів обмежується низкою суттєвих недоліків, таких як низька продуктивність; важкі умови праці; мінливість якості наплавленого шару і велике проплавлення основного металу.

1.2. Плазмового напилення. Останнім часом в ремонтному виробництві для відновлення циліндричних деталей, в тому числі і валиків водяних насосів, стали застосовуватися більш досконалі технологічні процеси.

Плазмового напилення – прогресивний метод захисту деталей і конструкцій від зношування і корозії, відновлення розмірів та декоративної обробки [2]. Сутність процесу плазмового напилення це нанесення захисних або зміцнюючих покриттів, що полягає в нагріванні і розплавлення напилюваного матеріалу стислою дугою (плазмовим струменем) і подальшому осадженні частинок на основному металі без його розплавлення. Покриття можуть бути отримані на будь-яких матеріалах практично без зміни властивостей поверхні, так як поверхню виробу зазвичай нагрівається до температур не більше 300 °С.

При подачі в струмінь частинок порошкового матеріалу розміром від 5-7 до 100-140 мкм в залежності від теплофізичних властивостей матеріалу і розмірів частинок відбувається їх нагрівання і проплавлення. Частка стає рідкою

або пластичною. Одночасно відбувається розгін частинок до швидкостей 1000-2500 км/год. При ударі нагрітої до рідкого або пластичного стану частинки на підготовлену підкладку відбувається її деформація, розтікання, охолодження і кристалізація.

Плазмове напилення дозволяє отримувати деталі і вироби зі спеціальними та декоративними властивостями поверхні: зносостійкими (за винятком деталей, що зазнають ударно-абразивного зношування), анти-фрикційні, корозійностійкі, жаростійкі, кавітаційно-стійкі, ерозійностійкі, електроізоляційні, стійкі проти фреттинг-корозії і ін.

Технологічний процес [6] складається з попереднього очищення (будь-яким відомим методом), активаційною обробкою і безпосередньо нанесення покриття. Швидкість переміщення плазмотрона 2...30 мм/сек, відстань між плазмотроном і виробом 100...150 мм, діаметр плями напилення 10...25 мм, товщина покриття 0,05...1,0 мм. Плазмутворюючим газом є, як правило, аргон або повітря. Як порошкового матеріалу, що формує покриття, використовуються різні особисті матеріали і сплави, тугоплавкі сполуки, оксиди, полімери та їх композиції розміром частинок до 100 мкм.

Устаткування для плазмового напилення складається з одного або двох серійних зварювальних джерел живлення, малогабаритного плазмотрона і порошкового дозатора.

У порівнянні з аналогами - газополуменевим, електродуговим і детонаційними напиленням, даний процес має переваги:

- ефективне управління енергетичними характеристиками напилюваних частинок і умовами формування покриття;
- високий коефіцієнт використання порошку (до 85%), міцність зчеплення покриття з основою (до 60 МПа), низька пористість;
- відсутність обмежень за розмірами напилювальних виробів;
- низька термічна дія на основу;
- нанесення покриття на локальні поверхні;

- нанесення покриття з мінімальними припусками;

Але, як і інші методи відновлення деталей, метод плазмового напилення не позбавлений і деяких недоліків:

- поряд з високою твердістю і зносостійкістю у наплавленого металу висока крихкість;
- необхідність в складному технологічному обладнанні та висококваліфікованому персоналі;
- погана робота в умовах знакозмінних і ударно-абразивних навантажень;
- невисока продуктивність процесу;
- висока вартість матеріалів (аргону і порошкових сплавів).

1.3. Дифузійна металізація. Також за останні десятиліття було проведено ряд досліджень [2] в області відновлення і зміцнення деталей машин методами дифузійної металізації.

Дифузійне хромування – це різновид хімікотермічної обробки, що полягає в насиченні поверхневих шарів деталей хромом в чистому вигляді або його сполуками (карбіди, бориди, нітриди, силіциди та ін.) [6]. Дифузійне хромування вигідно відрізняється від гальванічного, забезпечуючи високу продуктивність і низьку собівартість відновлення деталей [9]. Відновлені цим методом деталі практично не схильні до корозії.

Приріст геометричних розмірів на зразках зі сталі 45,45Х становить (на діаметрі) 100 мкм. Таке збільшення геометричних розмірів дає можливість відновлювати деталі мають знос близько 70-90 мкм [9].

Технологічний процес дифузійного хромування валів водяного насоса досить простий. Деталі очищаються і обезжирюються. Потім на відновлювані поверхні наноситься обмазка, яка містить хром. Підготовлені таким чином деталі встановлюються в термічну піч, де нагріваються до температури 1100...1200 °С. Час витримки встановлюється залежно від необхідності отримання приросту геометричних розмірів.

Після охолодження деталь піддається алмазному шліфуванню.

Але, не дивлячись на простоту і дешевизну відновлення деталей даним методом, висока якість одержуваних поверхонь деталей, даний метод не може бути впроваджений в ремонтне виробництво стосовно відновлення більшої частини деталей типу «вал» в тому числі і валиків водяних насосів, так як не забезпечує необхідний приріст геометричних розмірів.

Через це ремонту підлягає тільки обмежена номенклатура деталей (із зносом до 100 мкм), а велика частина деталей має знос, що перевищують цю величину.

1.4. Гальванічні покриття. Найбільшого поширення для відновлення валів водяних насосів отримали методи гальванічного нанесення покриттів: хромування і залізнення [3-10].

Процес електролізу зводиться до того, що іони які знаходяться в електроліті металу розряджаються на катоді, переходячи в атомарний стан, і осідають на ньому. Атоми утворюють кристалічну решітку, покриваючи поверхню деталі шаром металу. Анод розчиняється, утворюючи нові іони металу замість виділилися на катоді, тим самим, підтримуючи концентрацію електроліту. В якості електроліту зазвичай застосовують розчин солі металу з каталітичними добавками, що поліпшують властивості покриттів. Катодом служать попередньо очищені і підготовлені деталі, а анодом – пластини з необхідного металу або нерозчинні аноди з графіту і свинцю.

Процес залізнення знайшов широке застосування в ремонтному виробництві з метою відновлення зношених деталей машин [8]. У порівнянні з хромуванням залізнення має ряд переваг:

- 1) швидкість електролітичного осадження заліза значно вище, ніж при хромуванні, так як електрохімічний еквівалент заліза (1,042 г/А-год) приблизно в 3 рази більше, ніж у хрому (0,324 г/А -год);
- 2) вихід заліза по току (80-95%) в 3-6 разів більше, ніж при хромування;

3) можна отримувати товсті (понад 1 мм) і якісні покриття;

4) матеріали для приготування електролітів недорогі і загальнодоступні.

Однак, в нашому випадку застосування залізнення небажано по ряду причин:

а) низька зносостійкість і корозійна стійкість, що неприпустимо для більшості деталей типу «вал», в тому числі і валиків водяних насосів, зважаючи на важкі умови їх роботи;

б) недостатньо висока твердість покриття (120-750 кг/мм²);

в) низька втомлювальна витривалість покриття;

г) низька екологічність методів залізнення, потрібна очистка стоків.

Зносостійке хромування широко використовується в даний час як при виготовленні, так і при відновленні деталей машин [7,11].

У гальванотехніці в залежності від умов електролізу є можливість отримувати три види хромових покриттів: блискучі, молочні і сірі. Але для отримання зносо- і корозієстійких покриттів на деталях типу «вал» застосовуються тільки покриття блискучого хрому які характеризуються твердістю 6-9 ГПа, високою корозійною стійкістю, наявністю дрібної сітки тріщин, видимої під мікроскопом, а також досить високою зносостійкістю і хорошою адгезією покриття до підкладки. Однак, процес нанесення хромових покриттів має ряд недоліків:

- мала швидкість осадження хрому;
- низька розсіювальна здатність хромових електролітів;
- висока пористість покриттів, що викликає корозію при роботі в агресивному середовищі;
- висока вартість хромування;
- висока агресивність електролітів до технологічного устаткування.

Незначна швидкість осадження хрому (0,02-0,03 мм на годину для блискучого хрому і 0,01-0,016 мм на годину для молочного хрому) обумовлюється незначний вихід хрому по струму і невеликою величиною

електрохімічного еквівалента ($\epsilon = 0,323$ г/А-год). Це означає, що один тільки процес нанесення покриття на валик водяного насоса займе близько 6-8 годин в залежності від його зносу.

1.5. Газофазна металізація. Останнім часом в ремонтному виробництві нашої країни і за кордоном набувають популярності прогресивні, високотехнологічні, високопродуктивні та екологічно чисті методи відновлення деталей машин. Деякі успіхи отримують фізичні методи металізації, такі як катодного розпилення і вакуумне випаровування металів. Разом з тим, практика показує, що в багатьох випадках доцільно використовувати хімічні методи.

Серед цілого ряду хімічних методів отримання металевих плівок і покриттів особливо слід відзначити газофазний (або парофазний) метод термічного розкладання легколетких металоорганічних з'єднань, що дозволяє отримувати металеві шари при температурах, набагато нижче температур плавлення відповідних металів і сплавів [8, 9].

Перше повідомлення про можливість отримання металевих покриттів з газової фази належить англійцю Людвігу Монд, який в 1889 р відкрив перший з карбонилів металів групи заліза тетракарбоніл нікелю, $Ni(CO)_4$, а вже в 1901 р зумів впровадити карбоніл-процес в промисловість в якості нового методу отримання нікелю. Заснований Монд завод працює і в даний час і видає до 25000 тонн нікелю на рік у вигляді гранул металу сферичної форми діаметром 5-10 мм, що містить 99,5-99,8% нікелю.

У Радянському Союзі перші спроби отримання металевих плівок і покриттів розкладанням карбонилів металів були зроблені ще в 50-х роках В.Л. Волковим і Н.А. Білозерським .

Надзвичайно висока якість газофазних покриттів, їх висока універсальність і застосовність в різних галузях промисловості від відновлення і захисту деталей машин до використання в аерокосмічній промисловості, медицині, мікроелектроніці та ін. областях призводить до величезного інтересу

дослідників до цих покриттям по всьому світу. В даний час наукові розробки в області нанесення газофазних покриттів ведуться в науково-дослідних лабораторіях всіх найбільш розвинених країн.

Найбільшим центром в США з вивчення покриттів зароджених з газової фази є Національні Лабораторії Sandia, розташовані в шт. Каліфорнія і мають мережу дослідних підрозділів в Північній і Південній Америці. Тут ведеться розробка нових типів реакторів установок для газофазної металізації з поліпшеним підведенням тепла (молекулярнопроменевий метод металізації) і парів металоорганічних речовин, розробляються нові методи аналізу отриманих покриттів (оптична діагностика, лазерна спектроскопія та ін.), Використовується техніка візуального спостереження за потоком за допомогою ультрафіолетового випромінювання і т.д. [7, 10]. Дослідження ведуться з широким застосуванням сучасних обчислювальних засобів, що дозволяють за допомогою програмного пакета Chemkin, розроблених тут же, змоделювати процеси масопередачі парів металоорганічних сполук, розподілу тепла, і механізму протікання хімічних реакцій рис. 1.1.

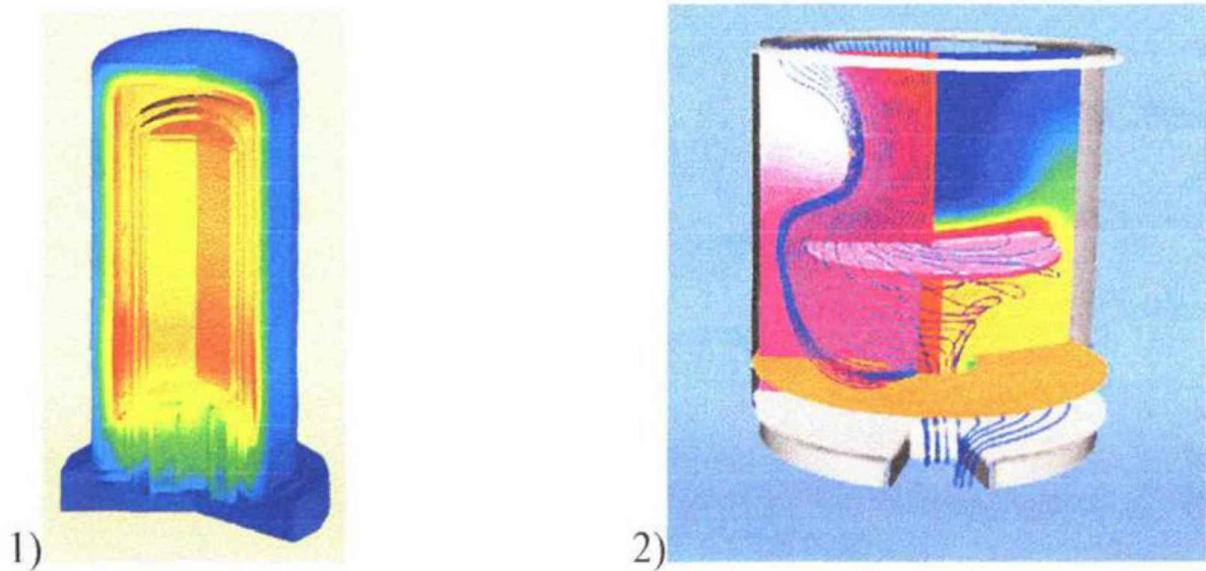


Рис. 1.1 – Математичні моделі розподілу тепла (1) і парів металоорганічних сполук (2) в реакторі створені в програмі Chemkin

Використання математичного моделювання процесів значно полегшує роботу експериментальних дослідників, дозволяючи заздалегідь прорахувати всі варіанти з використанням ЕОМ і відкинути неправильні рішення.

У Європі найбільш передовими країнами в дослідженнях осадження з газової фази є Великобританія, Німеччина, Австрія та Данія. Основними напрямками роботи європейських вчених є осадження з газової фази високоміцних покриттів на алмазах, робочих органах ріжучого інструменту, отримання особливо чистих металів газофазним методом, а також осадження тонких епітаксійних плівок для побудови на їх основі мікросхем з високим ступенем інтеграції. У європейських країнах також проводяться експерименти по веденню процесу металізації в нестандартних умовах (металізація в несучому газі проводиться під тиском 20..40 кПа при температурах 700...1500К, при всіх типах металізації проводяться експерименти з обертанням підкладки зі швидкістю 300-1500 об./хв і ін.).

Висновки по розділу 1

Проведений аналіз способів відновлення поверхонь деталей типу «Вал» дозволив визначити найперспективніший спосіб до якого відноситься газофазна металізація.

Використання газофазного хромування для відновлення деталей машин взагалі і валиків водяного насоса зокрема стримується деякими недоліками, основним з яких є недостатня адгезія покриття безпосередньо до поверхні сталевих деталей, що є наслідком особливого механізму наростання покриття. Проте, цей недолік можна виключити за рахунок нанесення газофазного хромового шару не на поверхню сталеві деталі, а на підшарок гальванічного хрому, який служить для створення високої адгезії покриття. При цьому відповідно до теорії орієнтаційного і розмірного відповідності Данкова і Блізнакова повинно виникнутися хороше зчеплення між шарами, так як

обидва шару є хромовими, параметри кристалічних решіток однакові і різниці в кристалічних решітках будуть мінімальні.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення експериментальних досліджень і визначення оптимальних режимів нанесення покриттів було виготовлено 25 зразків з якісної вуглецевої сталі 45 і 25 зразків з легованої корозійностійкої хромової сталі 35Х, так як з цих сталей найбільш часто виготовляються валики водяних насосів і інші деталі типу «вал» автотракторної техніки. Всі ці зразки мали розміри 20x10x3 мм, були відшліфовані і піддані загартуванню.

Сталі 45 і 35Х були взяті з метою дослідження впливу 1% хрому, який міститься в сталі на фізико-механічні властивості одержуваних покриттів.

Для випробування на зносостійкість було виготовлено 6 пар зразків у вигляді роликів діаметром 50 мм і товщиною 15 мм з тих же матеріалів.

З 6 пар для спеціальних досліджень:

1-ша пара (сталь 45, сталь 35Х) була загартована і залишена без покриття (штатний валик водяного насоса),

2-га пара була загартована і покрита гальванічним хромом на оптимальному режимі (існуюча технологія відновлення),

3-я пара покрита гальваногазофазним хромовим покриттям без проведення анодного травлення між шарами,

4-та пара була загартована і покрита двошаровим гальваногазофазним хромовим покриттям на оптимальному (найбільша адгезія при високій мікротвердості) технологічному режимі (досліджувана технологія відновлення і зміцнення),

5-та і 6-та пари покриті двошаровим гальваногазофазним покриттям на режимах відповідних отримання покриттів з максимальною мікротвердістю і максимальною адгезією.

Всі зразки були відшліфовані до $R_z = 1,2$ мкм. Перед нанесенням покриттів поверхні зразків очищалися і знежирюють ацетоном. Покриття на

зразки наносилися одночасно на пару зразків (зі сталі 45 і сталі 35X) для забезпечення однакових технологічних режимів і виключення похибок (різниця в температурах, часу витримки і т.д.).

Нанесення двошарових гальваногазофазних хромових покриттів на зразки і виконувалося в три етапи:

нанесення гальванічного підшарку, анодне травлення цього підшару і нанесення другого шару хромового покриття шляхом термічної дисоціації з газової фази гексакарбоніла хрому.

Нанесення гальванічного підшарку і його травлення здійснювалося на базі заводу «Житомирський ремонтно-механічний завод» в гальванічній ванній об'ємом 40 літрів виготовленої зі сталі 12X18H9T і футерованною кислотійкою емаллю.

Для живлення гальванічної ванни використовувався випрямляч ВАКГ-12/6-600. Регулювання щільності струму здійснювалося приладом УКПТ-2 побудованим на базі лагометра (порівняння напруги па електродах ванни з параметрами ліній постійної щільності струму).

Для контролю і регулювання температури електроліту використовувався прилад МРТ-1-6 / 3, який дозволяє контролювати температуру в шести точках ванни (в нашому випадку було задіяно чотири термометра).

В якості електроліту використовували саморегулюючий фторіднокремнефторидний електроліт (сульфатнокремневофторидний електроліт витісняється на виробництві через надзвичайно високу агресивність і меншого виходу по струму в порівнянні з електролітами на основі CaF_2) на основі каталізують добавок у вигляді важко розчинних солей.

Нанесення газофазного шару здійснювали на установці для газофазної металізації моделі 1МК - 608, приблизна схема якої зображена на рисю 2.1. Установка призначена для нанесення зносостійких хромових покриттів, а також допускається її переналагоджування для нанесення захисних або декоративних покриттів для будь-яких металевих деталей.

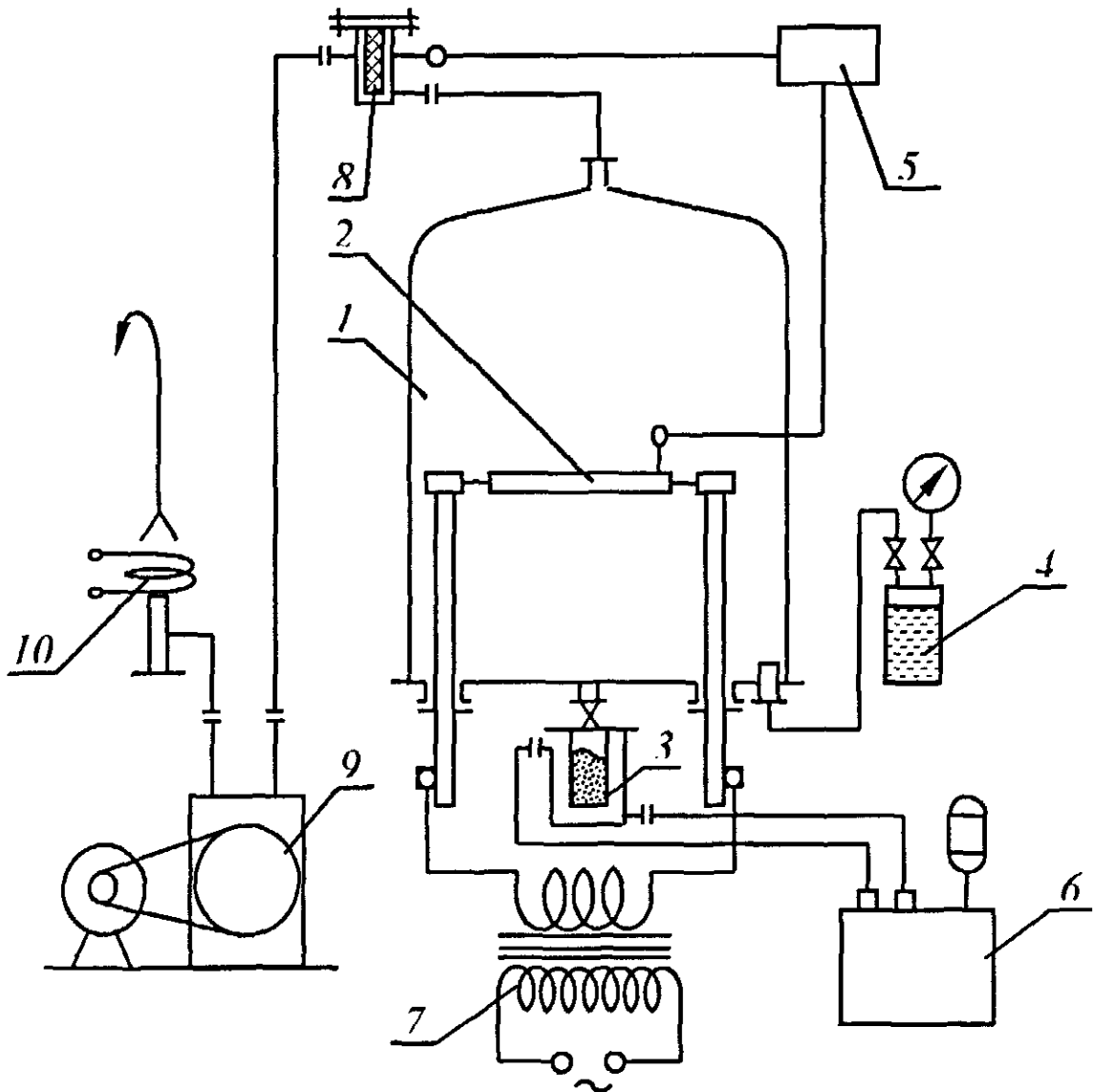


Рис. 2.1 – Схема установки газозфазної металізації 1 – реакційна камера; 2 – деталь; 3 – сублиматор; 4 – випарник; 5 – потенціометр; 6 – термопара; 7 – джерело струму; 8 – піч дорозкладання парів карбоніла; 9 – форвакуумний насос; 10 – піч спалювання оксиду вуглецю.

Випробування отриманих покриттів на зносостійкість проводились на машині тертя СМЦ-2 (рис. 2.2.) з модернізованою електричною схемою. Модернізація була введена раніше з метою підвищення стабільності і збільшення чутливості приладу і полягала в стабілізації живлення індукційного датчика шляхом заміни стабілізатора С-0.09 на електронний типу СТ-250/4, а також у разі необхідності розділення робочого діапазону вимірювання моменту тертя на ряд піддіапазонів шляхом включення в ланцюг вимірювання напруги

чотириступінчастого подільника що складається з резисторів: R6, R7, R8, R9, R10. Ці доробки дозволили підвищити чутливість приладу на 200-300% і забезпечили стабільність роботи у всіх діапазонах.

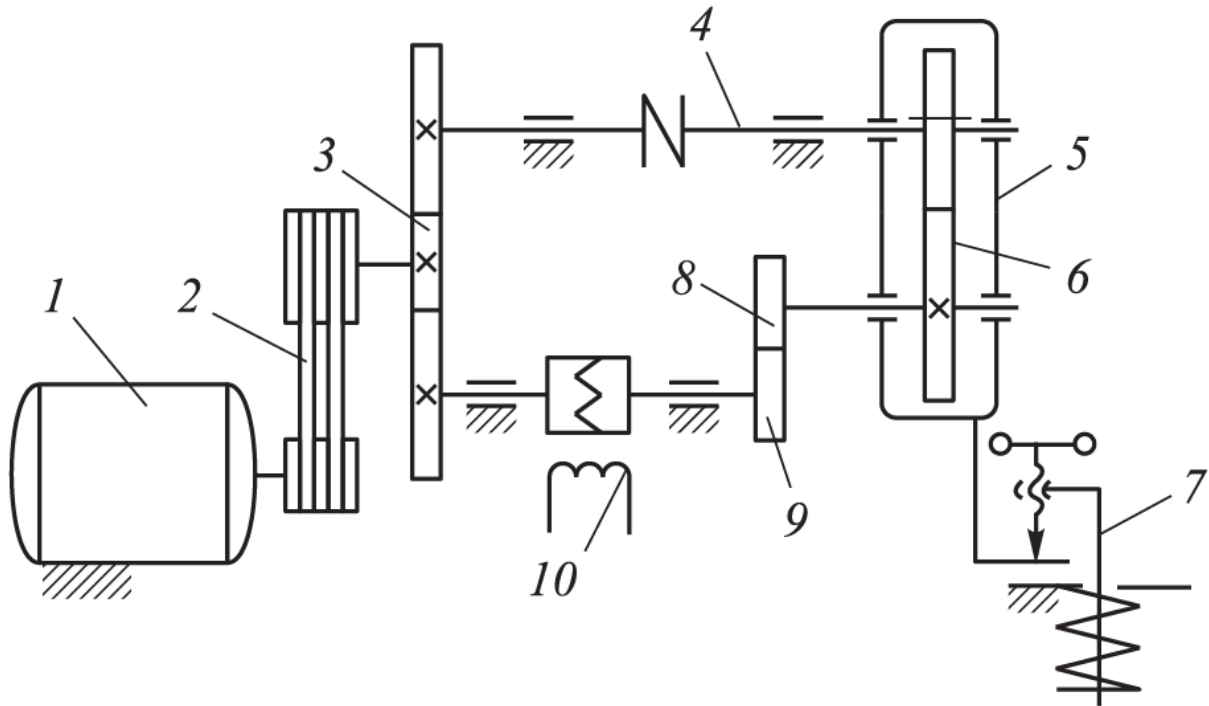


Рис. 2.2 Кінематична схема машини тертя



Рис. 2.3. Загальний вигляд машини тертя, яка використовувалась під час досліджень

Для випробування на зносостійкість були виготовлені зразки у вигляді роликів діаметром 50 мм і товщиною 15 мм. На частину з них наносилось двошарове гальваногазофазне хромове покриття загальною товщиною близько 200 мкм, з яких 170-190 мкм наносилось гальванічним методом і 5-20 мкм газофазним методом. Отримані зразки шліфувалися для отримання шорсткості поверхні $R_a = 0,8-0,2$ мкм. Для роботи в парі з зразком за схемою вал - вкладиш були виготовлені колодки зі сталі 40Х ГОСТ 4543-71 і сірого чавуну СЧ 20 ГОСТ 1412-70.

Випробування проводилися при постійній частоті обертання валу 500об/хв, якій відповідає швидкість ковзання 1,31 м/с при постійному навантаженні 5 МПа. В якості робочої рідини використовувалося масло М10Г (ГОСТ 8581-78) з домішкою 1,5% кварцового пилу, що має середній діаметр частинок 10 мкм. За рахунок постійної циркуляції масла в камері підтримувалася рівномірна подача абразивних частинок в зону тертя, а температура в зоні тертя становила близько 70-80 °С. Випробування проводилися до повного стирання покриття, при цьому через кожні 5 годин зразки знімали, ретельно промивали ацетоном, просушували стисненим повітрям і зважували на аналітичних вагах АДВ-200М з точністю до 0,1 мг. На машині тертя СМЦ-2 величина моменту тертя вимірюється за допомогою індуктивного датчика, по скручуванню пружного елемента і безперервно реєструється на стрічці електронного потенціометра.

Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи розроблено методику проведення експериментальних досліджень по визначенню стійкості до зношування запропонованих покриттів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження можливості відновлення деталей типу «вал» двигунів внутрішнього згорання нами були виготовлені зразки, на яких при використанні технологічних режимів наведених в таблиці 3.1 були отримані покриття з фізико-механічними властивостями, представленими в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Режими нанесення газофазних хромових покриттів

№	Матеріал зразка	Гальванічний шар			Анодне травлення		Газофазний шар			
		Температура електроліту, °С	Щільність струму, А/дм ²	Час процесу, хв	Щільність струму, А/дм ²	Час процесу, хв	Температура утворення / карбоніла, °С	Час процесу, хв		
1	Сталь 45	-	-	-	-	-	-	-		
1.2	Сталь 35X	-	-	-	-	-	-	-		
2	Сталь 45	50	60	200	-	-	-	-		
2.2	Сталь 35X	50	60	200	-	-	-	-		
3	Сталь 45	50	60	200	40	Менше тріщин на 1 мм ²	2	300/60	10	
3.2	Сталь 35X	50	60	200	40		2	300/60	10	
4	Сталь 45	50	60	205	40		2	400/60	10	
4.2	Сталь 35X	50	60	205	40		2	400 / 60	10	
5	Сталь 45	50	60	205	40		2	500/60	10	
5.2	Сталь 35X	50	60	205	40		2	500/60	10	
6	Сталь 45	50	60	212	40		2	300 / 50	14	
6.2	Сталь 35X	50	60	212	40		2	300/50	14	
7	Сталь 45	50	60	212	40		2	400 / 50	14	
7.2	Сталь 35X	50	60	212	40		2	400 / 50	14	
8	Сталь 45	50	60	210	40		2	500/50	14	
8.2	Сталь 35X	50	60	210	40		2	500/50	14	
9	Сталь 45	50	60	210	60		2	300/40	12	
9.2	Сталь 35X	50	60	210	60		2	300/40	12	
10	Сталь 45	50	60	205	60		Більше тріщин на 1 мм ²	2	400 / 40	12
10.2	Сталь 35X	50	60	205	60			2	400 / 40	12
11	Сталь 45	50	60	205	60	2		500/40	12	
11.2	Сталь 35X	50	60	205	60	2		500/40	12	
12	Сталь 45	50	60	210	60	2		450/40	13	
12.2	Сталь 35X	50	60	210	60	2		450 / 40	13	
13	Сталь 45	50	60	210	60	2		430 / 55	13	
13.2	Сталь 35X	50	60	210	60	2		430/55	13	
14	Сталь 45	-	-	-	-	-	430/55	13		
14.2	Сталь 35X	-	-	-	-	-	430/55	13		
15	Сталь 45	50	60	200	-	-	430/55	13		
15.2	Сталь 35X	50	60	200	-	-	430/55	13		
16	Сталь 45	50	60	200	60	2	300 / 60	14		
16.2	Сталь 35X	50	60	200	60	2	300 / 60	14		

Продовження таблиці 3.1.

17	Сталь 45	50	60	205	60	2	300/40	14
17.2	Сталь 35X	50	60	205	60	2	300/40	14
18	Сталь 45	50	60	205	60	2	500 / 60	14
18.2	Сталь 35X	50	60	205	60	2	500 / 60	14
19	Сталь 45	50	60	212	60	2	500 / 40	14
19.2	Сталь 35X	50	60	212	60	2	500/40	14
20	Сталь 45	50	60	210	60	2	300/40	10
20.^	Сталь 35X	50	60	210	60	2	300/40	10
21	Сталь 45	50	60	205	60	2	500/40	10
21.2	Сталь 35X	50	60	205	60	2	500/40	10
22	Сталь 45	50	60	205	60	2	500 / 60	10
22.2	Сталь 35X	50	60	205	60	2	500 / 60	10

Таблиця 3.2 – Результати визначення фізико-хімічних та трибо технічних властивостей гальванофазових хромових покриттів

№	Матеріал зразка	Гальванічний шар				Газофазний шар		Міцність зчеплення, МПа	Інтенсивність зношування, г/год	Остаточні напруження, МПа
		Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа	Вихід по струму, % '	Швидкість осадження мкм/год	Товщина, мкм	Мікротвердість, ГПа			
1	Сталь 45	Мікротвердість 5,9 ГПа							1,182	-
1.2	Сталь 35X	Мікротвердість 6,45 ГПа							1,256	-
2	Сталь 45	178	7,70	26,7	53,4	-	-	88	0,63	169
2.2	Сталь 35X	186	8,05	27,9	55,8	-	-	92	0,59	153
3	Сталь 45	175	8,10	26,25	52,5	5	14,85	52		
3.2	Сталь 35X	181	8,80	27,15	54,3	9	14,80	58		
4	Сталь 45	186	7,95	27,21	54,44	11	13,25	69		
4.2	Сталь 35X	189	7,80	27,66	55,32	9	13,80	73		
5	Сталь 45	182	8,10	26,64	53,27	10	11,60	82		
5.2	Сталь 35X	193	8,05	28,23	56,49	12	11,70	82		
6	Сталь 45	188	7,90	26,61	53,21	16	14,10	55	0,85	420
6.2	Сталь 35X	184	8,40	26,04	52,08	19	14,50	61	0,79	365
7	Сталь 45	180	7,65	25,47	50,94	18	12,05	85		
7.2	Сталь 35X	199	7,50	28,17	56,32	19	12,20	88		
8	Сталь 45	190	7,70	27,15	54,29	20	9,90	95		
8.2	Сталь 35X	185	7,55	26,43	52,86	21	10,20	99		
9	Сталь 45	181	6,90	25,86	51,71	31	14,00	62		
9.2	Сталь 35X	173	7,10	24,72	49,43	27	13,75	67		
10	Сталь 45	176	7,05	25,77	51,51	22	10,80	94		
10.2	Сталь 35X	180	7,00	26,34	52,68	25	11,15	95		
11	Сталь 45	183	7,60	26,79	53,56	27	9,70	101	0,46	255
11.2	Сталь 35X	178	7,35	26,04	52,1	26	9,85	105	0,43	230
12	Сталь 45	194	7,20	27,72	55,43	23	12,40	94		
12.2	Сталь 35X	205	7,40	29,28	58,57	23	12,35	96		
13	Сталь 45	200	7,60	28,56	57,14	24	12,25	94	0,21	273
13.2	Сталь 35X	203	8,00	29,01	58	25	12,10	97	0,22	262
14	Сталь 45	-	-	-	-		4,50			
14.2	Сталь 35X	-	-	-	-		4,80			
15	Сталь 45	176	8,60	26,4	52,8	19	11,60	78	0,38	298
15.2	Сталь 35X	178	9,10	26,7	53,4	24	11,35	80	0,35	286

Продовження таблиці 3.2.

16	Сталь 45	172	7,4	25,4	50,9	17	14,75	53	-	-
16.2	Сталь 35X	175	7,35	24,8	49,4	18	14,6	56	-	-
17	Сталь 45	179	7,4	26,6	53,2	15	14,15	59	-	-
17.2	Сталь 35X	176	7,5	26,7	53,2	14	14,2	60	-	-
18	Сталь 45	169	7,6	27,7	55,3	24	Н,9	92	-	-
18.2	Сталь 35X	172	7,6	28,1	56,1	26	11,85	90	-	-
19	Сталь 45	179	7,9	27,5	55,3	21	12,25	84	-	-
19.2	Сталь 35X	180	8,05	27,9	55,8	20	12,1	88	-	-
20	Сталь 45	182	7,3	26,9	53,9	15	14,35	58	-	-
20.2	Сталь 35X	182	7,5	27,2	54,4	15	14,4	57	-	-
21	Сталь 45	177	7,7	25,8	51,6	18	12,2	86	-	-
21.2	Сталь 35X	175	7,75	25,9	52,1	19	12,25	87	-	-
22	Сталь 45	179	7,8	26,5	53,2	20	12,3	85	-	-
22.2	Сталь 35X	181	7,7	26,2	52,3	19	12,1	89	-	-

Як вже було сказано раніше, мікротвердість газофазних покриттів безпосередньо залежить від технологічних режимів процесу їх отримання. Проведені нами дослідження дозволили отримати гістограми представлені на рис. 3.1.

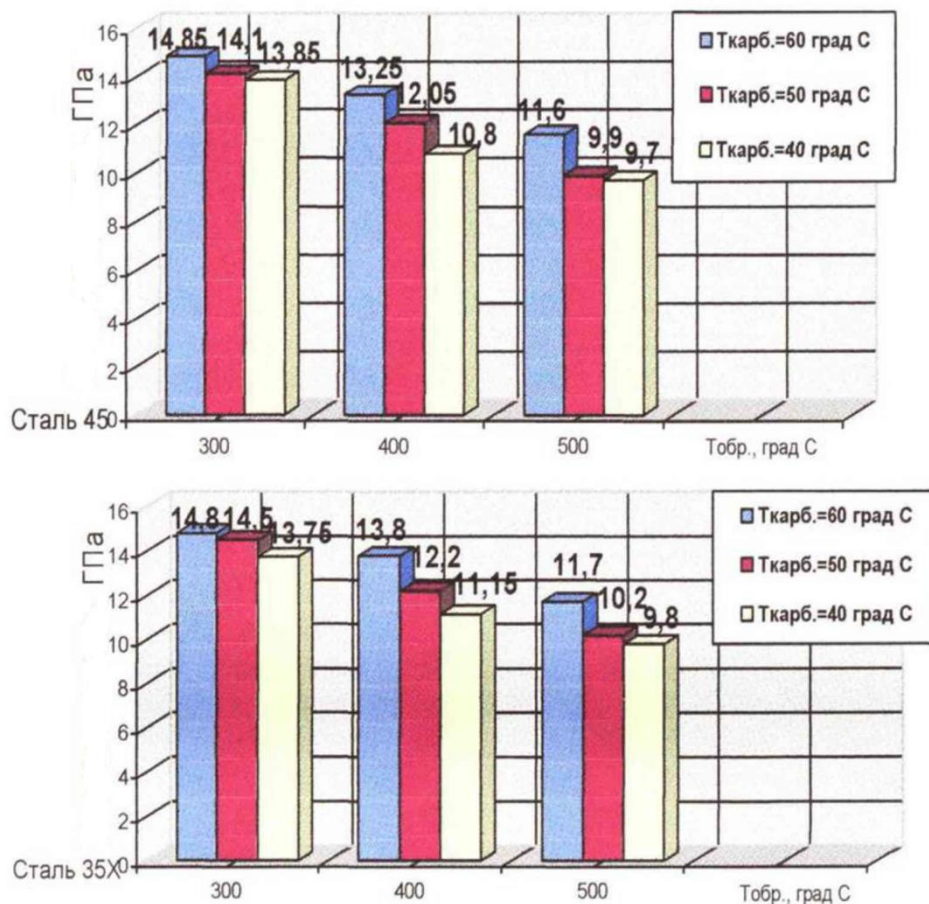


Рис. 3.1. Вплив температури зразків і температури випаровування карбоніла на мікротвердість одержуваних покриттів

Як видно з отриманих гістограм, з підвищенням температури підкладки і зниженням температури випаровування карбоніла мікротвердість одержуваних покриттів знижується. Згідно термодинамічним розрахунками (, висока мікротвердість газофазних хромових покриттів пов'язана з наявністю високотвердих домішок оксидів і карбідів хрому. Із зростанням температури підкладки вміст пов'язаного вуглецю знижується, що викликає тим самим, і зменшення мікротвердості. Далі при проведенні досліджень фазового і елементного складу ці положення повинні підтвердитися.

Метою даної роботи є підвищення міцності поверхонь деталей типу «вал» двигунів внутрішнього згоряння шляхом розробки технології відновлення і зміцнення даних деталей гальваногазофазним хромуванням, а, як відомо, однією з головних характеристик міцності є мікротвердосць. Тому далі необхідно провести порівняння мікротвердості серійного валика, з існуючою технологією його відновлення і розробленою технологією, показано на рис. 3.2.

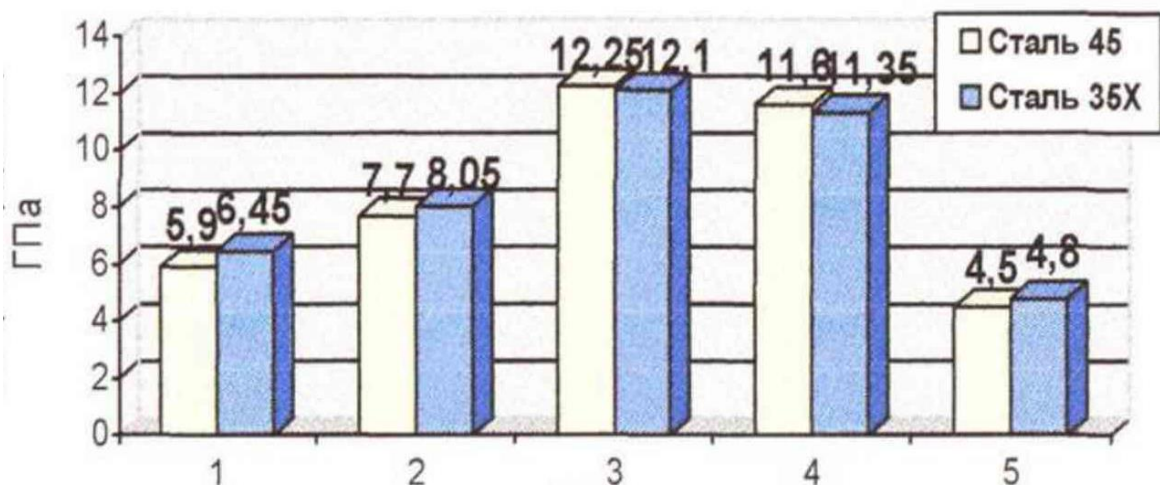


Рис. 3.2. Порівняння мікротвердості зразків, відновлених різними методами із зразками, відповідними серійним валів: 1 – серійний валик; 2 – існуюча технологія відновлення – гальванічний хром; 3 – гальваногазофазне покриття на оптимальному режимі; 4 – гальваногазофазне покриття без анодного травлення між гальванічним і газофазними шарами, 5 – газофазне покриття без гальванічного підшару (покриття не утворилося).

Серійний вал показує мікротвердість, яка характерна для загартованої сталі з якої він виготовлений. Існуюча, найбільш поширена технологія відновлення цих деталей гальванічним хромом вже дає деяке зміцнення поверхні (приблизно на 30%), яке, однак, є недостатнім для отримання якісних зносостійких покриттів.

Гальваногазофазное покриття, нанесене на оптимальному режимі, дає більш істотне збільшення мікротвердості (приблизно на 100% але порівняно з серійним валиком і на 50% в порівнянні з існуючою технологією). Відсутність анодного травлення між гальванічним і газофазним хромовими шарами має незначний негативний вплив на мікротвердість покриття. На наш погляд це пов'язано з тим, що анодне травлення оголює кристалічну структуру гальванічного покриття, при цьому наступний газофазний шар продовжує її, створюючи майже ідеальну кристалічну структуру газофазного шару. Відсутність же анодного травлення призводить до виникнення спотворень кристалічної решітки газофазного шару через недостатню «чистоту» гальванічного подшарку.

Незважаючи на велику важливість таких показників як мікротвердість, міцність зчеплення покриттів з підкладкою і наявність внутрішніх напружень вони все-таки носять більше теоретичний характер. Найбільш же практичним показником є зносостійкість покриттів (або зворотна величина – швидкість зношування). Вона характеризує стійкість покриттів при роботі в умовах тертя і тому максимально наближена до реальних умов роботи валика водяного насоса. Як і в попередньому експерименті представлена швидкість зношування тільки найбільш характерних зразків.

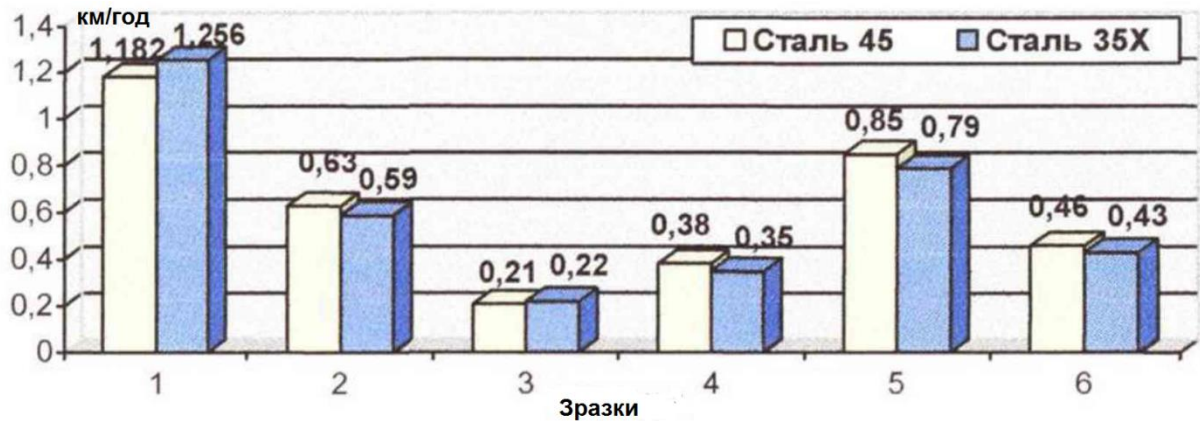


Рис. 3.3 – Порівняння швидкості зношування зразків, відновлених різними методами із зразками, відповідними серійним валів: 1 – серійний вал; 2 – існуюча технологія відновлення – гальванічний хром; 3 – гальваногазофазне покриття на оптимальному режимі; 4 – гальваногазофазне покриття без анодного травлення між гальванічним і газозфазними шарами, 5 – гальваногазофазне покриття з максимальною мікротвердістю ($T_{обр} = 300^{\circ}\text{C}$, $T_{карб} = 50^{\circ}\text{C}$), 6 – гальваногазофазне покриття з максимальною міцністю зчеплення з підкладкою ($T_{обр} = 500^{\circ}\text{C}$, $T_{карб} = 40^{\circ}\text{C}$).

Отримані дані добре співвідносяться з отриманими раніше показниками мікротвердості. Як і слід було очікувати, найбільш схильним до зносу, з досліджуваних зразків, виявився зразок відповідний серійного валу. Відновлення за існуючою технологією гальванічним хромом дає збільшення протизносних якостей на 35 - 40%, що, як показує практика, є недостатнім. Досліджувана технологія відновлення валиків гальваногазофазним хромом на оптимальному режимі показує найвищі показники зносостійкості серед перевірених зразків. Деталі, відновлені цим методом, протистоять зносу на 150-200% краще, ніж відновлені за існуючою технологією і в кілька разів краще, ніж серійні. Зразки, відновлені на тих же технологічних режимах, але без анодного травлення мають трохи більшу швидкість зношування, що пояснюється невеликим зниженням мікротвердості.

Вплив марок сталі на зносостійкість покриттів, не носить яскраво вираженого характеру. У деяких парах на зразках зі сталі 35X зносостійкість

вище, ніж на зразках зі сталі 45 на інших, навпаки, проте ці коливання незначні (менше 5%).

Висновки по розділу 3

Зразки, відновлені гальваногазофазним хромуванням показують набагато вищу зносостійкість в порівнянні з відновленими за існуючою технологією (гальванічним хромуванням) і особливо в порівнянні з серійними валиками. Оскільки на переважній більшості сучасних автомобілів валики водяних насосів виготовляються з різних марок сталей, то гальваногазофазне хромування можна рекомендувати для відновлення і зміцнення валиків водяних насосів всіх автомобілів.

ВИСНОВКИ

Якісні хромові покриття осідають з газової фази гексакарбоніла хрому при температурі нагріву деталей ~ 430 °С і температурі сублимації карбоніла 50-60 °С на підшарку гальванічного блискучого хрому. Переважно використання пористого подшарку з порами канальчатого типу і з однаковою просторовою орієнтацією кристалів (епітаксіальні покриття).

Встановлено, що для досягнення високої зносостійкості деталі недостатньо тільки високою мікротвердістю або високою адгезією до підкладки, а необхідно оптимальне співвідношення цих характеристик міцності.

Виявлено, що проведення анодного травлення гальванічного хромового підшарку перед нанесенням зміцнюючого шару з газової фази підвищує адгезійну міцність на 15-20% в порівнянні з покриттям без анодного травлення. Марки сталей відновлюваних деталей надають мінімальний вплив на міцність зчеплення покриттів з основою в межах 2-3%, проте, перевага віддається сталям зі зниженим вмістом вуглецю легованих хромом. Це дозволяє рекомендувати гальваногазофазне хромування для відновлення і зміцнення поверхонь валиків водяних насосів практично всіх марок автомобілів.

Висока мікротвердість хромових покриттів отриманих термічної дисоціацією парів гексакарбоніла хрому з газової фази забезпечується наявністю в складі покриття великої кількості оксидів і карбідів хрому. Також було встановлено, що при нанесенні газофазного шару вуглець проникає і в гальванічний подшарок, утворюючи карбіди хрому і в ньому. При цьому забезпечується плавна зміна фізико-механічних властивостей покриття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черновол М. И. Повышения качества восстановления деталей машин. Киев : Техника, 1989. 367 с.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов 2-е изд. переработ. и доп. / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, 2001. 664 с.
3. Белый В. А. Трение и износ материалов на основе полимеров. Москва : Наука и техника, 1976 432 с.
4. Заблонский К. И. Детали машин. Киев : Вища школа, 1985.518 с
5. Селиванов А. И., Артемьев Ю. Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. Москва : Колос, 1978. 247 с.
6. Костецкий Б. И., Носовский И. Г. Износостойкость и антифрикционность деталей машин: Киев: Техника, 1965. 206 с.
7. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. Москва : Машиностроение, 1977. 526 с.
8. Лайнер В. И. Защитные покрытия металлов. Москва : Металлургия, 1974, 560 с.
9. William S. Rees, Jr., John Wiley & Sons. CVD of Nonmetals, New York, NY 2018,392 pp.
10. North B. Six issues for the hard coatings community. Surface and Coatings Technology. 106, 2020, P. 129-134.
11. UK surface engineering industry worth 2103 billion in 2010. Surface Engineering. 2019. V. 14. No. 2. P. 83.
12. Аршинов В.Д. и др. Ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240Б. Москва : Транспорт, 1978, 310 с.
13. Борисов Г.А. Газофазная металлизация и ее применение в ремонтном производстве. Тверь: ТСХИ, 2000.
14. Ворошнин Л.Г.Антикоррозийные диффузионные покрытия Под ред. К.В. Горева. Минск: Наука и техника, 1991, 296 с.