

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Підвищення зносостійкості деталей машин шляхом
електродифузійної обробки»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Манжос А. І.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: _____
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Біловод О.І.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Актуальність теми. У сільському господарстві дуже важливо зміцнення робочої поверхні деталі, що підвищує зносостійкість деталі, а отже, і її ресурс. У процесі експлуатації сільськогосподарської техніки порожнисті деталі зазнають абразивного зношування, сильних динамічних і температурних навантажень, впливу хімічних речовин в агресивних середовищах. За таких умов працюють гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згорання та компресорів; втулки гусениці, проміжні опори, шарнірні та шліцеві з'єднання; пальці комбайна; циліндри гідравлічної системи; трансмісійні кільця; порожнисті корпуси; скла; зернопереробні підприємства та компоненти транспортної системи, наприклад матеріалопроводи. і обертання ліктів. Використовувані в даний час способи неефективні для зміцнення внутрішніх поверхонь порожнистих деталей. Це пов'язано з кількома факторами: кривизною і великою площею поверхні, що обробляється, і навіть відсутністю спеціалізованого обладнання. Як правило, при зміцненні порожнистих деталей зовнішня поверхня має більш високу твердість і зносостійкість, ніж внутрішня. Це в свою чергу призводить до зниження робочих показників внутрішньої робочої поверхні. В даний час дослідженню впливу електричного струму на властивості сталі приділяється особлива увага, а отримані результати допоможуть розробити нові технології та методи ремонту та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки (особливо закордонного виробництва). Огляд та аналіз сучасного стану наявних досліджень щодо покращення експлуатаційних характеристик порожнистих деталей з внутрішніми робочими поверхнями свідчить про неефективність застосованих методів зміцнення. Тому розробка та перевірка параметрів електродифузійної обробки (ЕДО), що дозволяє зміцнити внутрішню поверхню порожнистих деталей, є перспективним напрямком досліджень на запропоновану тему.

Мета роботи. Підвищення зносостійкості робочої поверхні деталей сільськогосподарської техніки шляхом посилення ЕДО.

Об'єкт дослідження - Технологія ЕДО зміцнення робочої поверхні деталей сільськогосподарської техніки.

Предмет дослідження - Закономірності формування зміцнюючого шару отриманого на деталях з низьколегованої сталі ЕДО.

Відповідно до цього в роботі було поставлено такі завдання:

1. Провести ЕДО дослідження низьколегованої сталі та вивчити структуру та механічні властивості шару зміцненої сталі після ЕДО.
2. Розробити розширений процес ремонту ЕДО для внутрішньої поверхні гільзи циліндра.

Наукову новизну дослідження складають:

1. Новий метод зміцнення ЕДО шару на внутрішній робочій поверхні порожнистих деталей з низьколегованої сталі.
2. Встановлено залежність між параметрами ЕДО низьколегованої сталі та характеристиками зміцненого шару.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз умов роботи та дефектів порожнистих деталей

сільськогосподарських машин

Серед енергонасичених сільськогосподарських машин найбільшу кількість відмов мають двигуни внутрішнього згоряння [1]. Цей показник підвищиться після капітального ремонту[2]. Основними причинами відмови є знос, втомне руйнування, корозія ресурсовизначних вузлів, які входять до складу циліндропоршневої групи двигуна. Гільза циліндра дизеля та її внутрішня поверхня утворюють стінку камери згоряння, яка працює в умовах підвищеного навантаження, що зумовлено перепадом температури під час роботи двигуна та впливом елементів поршневої групи [3].

Максимальне навантаження і максимальний знос пари тертя двигуна внутрішнього згоряння виникають між тактом стиснення і тактом розширення, тобто при проходженні поршнем верхньої мертвої точки (рисунок 1.1) [4]. У цей час нормальна сила N змінює напрямок, змушуючи поршень рухатися всередині циліндра.

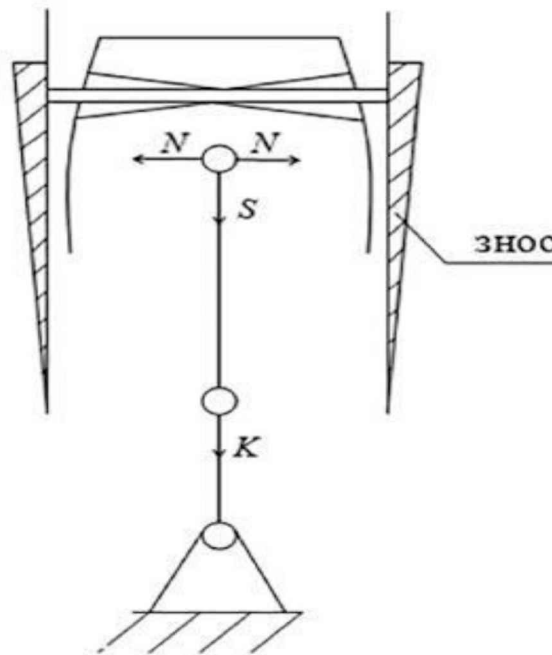


Рисунок 1.1 - Положення максимального зношування деталей циліндропоршневої групи

До дефектів, що виникають під час експлуатації гільз ДВС, відносяться: збільшення діаметра, відхилення циліндричності внутрішньої поверхні, механічні пошкодження, кавітаційні пошкодження, погіршення механічних характеристик тощо [5]. Найпоширенішим видом порушення справного стану гільз механічного двигуна трактора-автомат є знос, який виникає внаслідок тертя сполучених поверхонь, що посилюється при попаданні твердих часток, агресивних середовищ, коливаннях температури.

Зони тертя також можуть бути спричинені недостатньою мастилом. Внаслідок цього в роботі двигуна відбуваються негативні зміни – збільшення витрати палива та мастила, утруднення запуску двигуна та загальне зниження працездатності [5, 6]. Зношування робочої поверхні гільзи циліндра відбувається внаслідок адгезії, корозії та абразивного зношування. [7].

Найбільш зношеною частиною втулки є верхня мертва точка верхнього притискного кільця. На малюнку 1.2 чітко видно, що в зоні верхньої мертвої точки дзеркала є більш темна смуга Гільза циліндра, що характеризує межі зони зносу [8].



Рисунок 1.2- Зношені гільзи циліндра ДВЗ Caterpillar-3116

Гільза циліндра двигуна MAN, показана на малюнку 1.3, має дефект

задирки, який є продовженням двох непересічних подряпин. Дорівнює ходу поршня. Внаслідок цього дефекту розглянутий внутрішній діаметр гільзи знаходиться у верхній мертвій точці поршня в крайніх робочих значеннях, що свідчить про короткочасну роботу гільзи циліндра.



Рисунок 1.3- Задири на гільзах циліндрів двигуна MAN

Овальність обумовлена дією нормальних сил, які визначають робочу поверхню циліндра і поршня, умови роботи у верхній частині циліндра ускладнюються, в результаті чого конусність збільшується [4]. Класифікація визначається на основі співвідношення між зносом і кількістю поршневих компресійних кілець: кількість кілець дорівнює числу ступенів зносу, розташованих у верхніх краях поршня. Градація обумовлена зносом робочого допоміжного циліндра - верхнього кільця на початку експлуатації, а потім зносом цієї пари з подальшим розподілом робочих навантажень і збільшенням величини зносу робочого допоміжного циліндра - нижнього кільця.

Знос посадкової смуги і нижньої поверхні задирок призводить до відхилення в посадці гільзи в циліндрі - гільза западає, порушуючи норми щільності з'єднань сорочки охолодження, а також взаємне розташування

циліндропоршневої групи та деталей колінчастого вала призводять до їх підвищеного зносу при подальшій експлуатації [6]. Міцність стінки гільзи може бути знижена кавітаційним пошкодженням, яке часто відбраковується при ремонті. Зупиняючись на роботі гусеничної техніки, слід зазначити, що значна частина коштів, що витрачаються на ремонтні роботи, припадає на її ходову частину [9]. Якщо точніше, то на приведення траси в робочий стан пішло приблизно 40% коштів.

Тому важливим завданням реставраційного виробництва є підвищення зносостійкості деталі, що розглядається. В процесі експлуатації сильно зношуються пара тертя «пальці», що безпосередньо контактує з ґрунтом, і сам шатун. Фрикційна пара гусениць (рисунок 1.4) є найбільш зношеною частиною ходової частини цих тракторів. Значні навантаження можуть впливати на втулки і пальці, викликаючи абразивний знос.



Рисунок 1.4 - Зношування деталей «втулка-палець» бульдозера KOMATSU

При цьому спостерігався знос як внутрішньої, так і зовнішньої поверхні втулки. Останній знос викликаний підвищеною силовою дією на зуби ведучої зірочки і виникає при її центральній зоні. Обидва компоненти зношуються в комбінації «внутрішня поверхня рукава – палець». Ефект зміцнення пальців ТГФ недостатній [10]. Однією з важливих характеристик якості деталей машини є твердість робочої поверхні, яка значною мірою визначає її ефективність і довговічність [12].

При проведенні ремонтних робіт на ходовій частині сільськогосподарської техніки в більшості випадків втулки і пальці гусениць виготовляються зі сталі 20Г, яка проходить механічну обробку на початковому і кінцевому етапах, під час яких проводять науглерожування, гарт і низькотемпературний відпуск. . Водночас цей процес є досить дорогим, і неможливо отримати необхідні експлуатаційні характеристики внутрішньої поверхні гільзи як з точки зору матеріальних вкладень, так і з точки зору трудовитрат [9].

Це пояснюється тим, що під час загартування гільзи в її порожнині підтримується досить висока температура - ефект, що отримав назву «парової сорочки». У досить жорстких умовах експлуатації сільськогосподарської техніки - наявність пилу, частинок ґрунту, підвищеної вологості, застосування хімічних і органічних добрив, вони неминуче контактують з мало захищеними рухомими сполуками. Сукупна дія вищевказаних факторів призводить до збільшення абразивного та корозійного зношування поверхонь, що сполучаються. Умови експлуатації більшості технічних засобів сільськогосподарського призначення схожі.

Щодо питань обслуговування різальних апаратів зерно- та кормозбиральних комбайнів виявлено, що найчастіше замінювали пальці жатки, максимальний загальний знос яких досягав 1,5 мм. При дослідженні цих елементів різального обладнання встановлено, що від 70% до 82% деталей потребують ремонту шляхом подальшого зміцнення [13]. Середній час роботи до заміни пальців марки DQ11499, встановлених на зернозбиральних комбайнах John Deere 1165, 1175, 1185 моделей 319, 323, 325, визначається обсягом виконаної роботи на 16 га.

Гострота пальців комбайна може затупитися та зношуватися під час вегетації та природного зносу. Додатковий обробіток ґрунту проводять на площі 1 га в робочий період [14]. Поверхня зрізу пальця DQ 11499 цього періоду має чітко помітні краї (рис. 1.5). Після заточування ріжуча кромка пальця має радіус виточки 0,07...0,1 мм.

МІСЦЯ ЗНОСУ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ

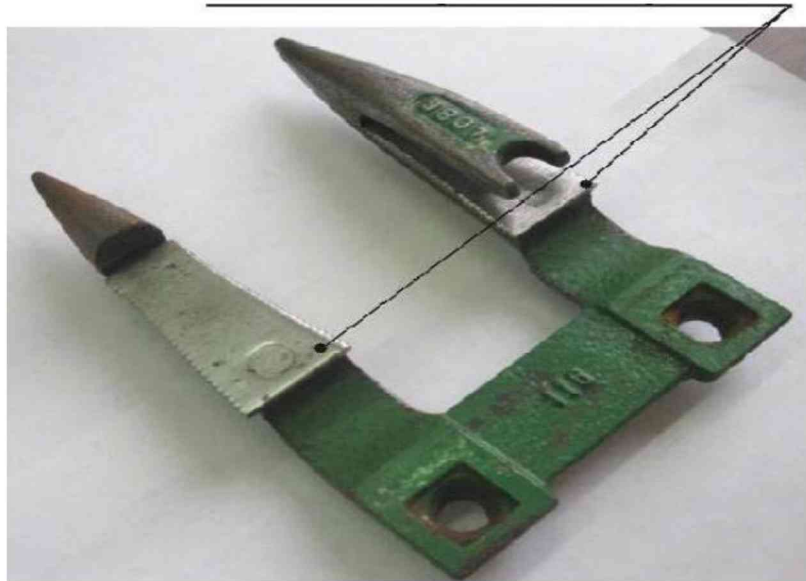


Рисунок 1.5 - Зношені пальці комбайнів DQ 11499 Моделі 319, 323, 325
Зернозбиральний комбайн John Deere 1165, 1175, 1185

Палець KJ38 375780, встановлений в косарних агрегатах зернозбиральних комбайнів New Holland серій GSX, GS, GR і GX для жаток моделей ExtraCapacity, HighCapacity, Varifeed, обмежений 21 га [15]. Під час роботи пневматичної зернової лінії спостерігається нерівномірний знос її внутрішньої поверхні, що зумовлено різними причинами [16].

Найбільша довжина поверхневого зносу відбувається на прямих ділянках пневматичних трубопроводів, де накопичуються швидкості та сповільнюється потік частинок. Крім цього типу зносу, існує також знос локалізованого характеру, який виникає при: Місця зміни напрямку (вигини або відгалуження), раптове звуження і розширення, встановлення регулюючих пристроїв, внаслідок чого змінюється форма і напрямок потоку зерна.

Локалізовані види зносу завдають найбільшої шкоди, після чого трубопровід виходить з ладу в кілька разів швидше, в системі з'являються наскрізні отвори і втрати тиску, а згодом зношені частини пневмопроводу потребують заміни. Більшість робочих механізмів сільськогосподарської техніки, особливо сільськогосподарської (лемеші, лапи культиватора, фрези тощо), під час

експлуатації зазнають впливу змінних динамічних навантажень, механічного зносу та ерозії від робочого середовища [17]. Ці фактори призводять до зниження довговічності та надійності машин і обладнання, що призводить до виходу обладнання з ладу та простоїв, а також значних витрат на ремонт з метою ремонту зношених деталей або придбання нових дорогих деталей.

При повторному використанні відремонтованої лапи культиватора загальна кількість дефектів кріплення порожнистої склоочисної частини досягла 69% (рисунок 1.6) [18]



Рисунок 1.6- Лапи культиватора мають два наскрізних отвори в зоні з'єднання.

Встановлено суттєві відмінності в механічних властивостях лап культиватора після ремонту, що оцінюється за твердістю матеріалу в зоні кріплення, а отже різною зносостійкістю. Тому рекомендується зміцнювати місця порожнистого кріплення, які найбільш схильні до зносу.

1.2 Шляхи збільшення ресурсів порожнистих деталей сільськогосподарської техніки

Досвід ефективного ресурсозбереження в країні та за кордоном показує, що найекономічнішим способом використання наявного обладнання є відновлення деталей в процесі обслуговування. Цей вид ремонту особливо підходить для відновлення важливих деталей, які мають значну залишкову вартість і обмежують

тривалість придатного для використання стану двигуна внутрішнього згорання у випадку, якщо локальні дефекти або незначний знос можуть призвести до передчасного виходу з ладу окремих деталей і агрегату в цілому. [8].

Однак дотепер поширеним є спосіб заміни несправних агрегатів машин або обладнання шляхом ремонтних робіт. Хоча в сучасних умовах, коли використовується велика кількість іноземної техніки, такий вид ремонту найбільш економічно невиправданий. Застосування нових технологічних рішень для ремонту зношених деталей може дати ряд переваг при проведенні ремонту в порівнянні з їх заміною на нові, що призводить до позитивних економічних результатів. Технологія ремонту передбачає відновлення всіх робочих параметрів вузла або агрегату, які були порушені в процесі експлуатації, а також забезпечує подальшу роботу відремонтованої одиниці обладнання з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Тому в сучасних умовах одним із першочергових завдань є пошук найбільш вигідного та ефективного технічного рішення зміцнення гільз циліндрів із усіх запропонованих рішень [19]. В даний час методи відновлення робочого стану зношених гільз циліндрів двигунів сільськогосподарської техніки включають металізацію, розточування під ремонтний розмір, установку вкладишів, відцентрову випікання, термопластичне деформування, ламінування, гальванічне покриття та ін. Покриття тощо не підходять для вирішення всіх проблем із дефектами.

Недоліки вищевказаних методів відновлення включають високі та трудомісткі витрати на реалізацію та низьку універсальність у обробці різних деталей геометричних параметрів [8]. У процесі ремонту двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) гільза висверджується по внутрішньому діаметру до розміру, що відповідає діаметру ремонтного поршня, тим самим видаляючи армуючий шар на внутрішній поверхні та посилюючи зниження її твердості [3].

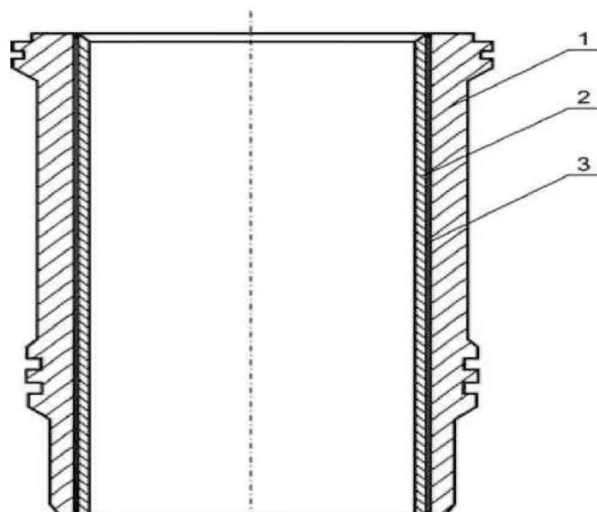


Рисунок 1.7- Повний вигляд гільзи в зборі: 1 - зношена гільза; 2 - тонкостінна гільза (запресована); 3 - шар термопасти.

Більшість відомих способів ремонту блоків дизельних двигунів підходять для гільз циліндрів «мокрого» типу. При ремонті блоку циліндрів з алюмінієвого сплаву єдиним способом є встановлення «сухої» ремонтної гільзи та обробка її під ремонтний розмір [20]. У деяких випадках єдиною альтернативою заміни несправного блоку циліндрів на новий є відновлення блоку шляхом установки ремонтної гільзи. Додатково несправну втулку можна відремонтувати до номінального значення розмірів, встановивши в зношену втулку тонкостінну втулку.

Для цього дефектну гільзу - 1 спочатку зачищають, а потім свердлять до розмірів зовнішнього діаметра тонкостінної гільзи - 2 (рис. 1.7) [21]. Далі на зовнішню циліндричну поверхню тонкостінної гільзи наноситься термопаста. Після цього нанесіть тонкий шар термопасти на внутрішню поверхню зношеної гільзи і втисніть в неї тонкостінну гільзу. На завершальному етапі гільза компонента доводиться до номінального розміру за допомогою алмазної хонінгувальної штанги.

Практичним напрямком є розробка та впровадження пристроїв і методів відновлення отворів циліндрів: у блоках двигунів, картерах коробок передач і гільзах циліндрів [22]. Одним із способів відновлення робочих параметрів

порожнистої деталі є зміцнення її внутрішньої поверхні шляхом створення різниці температур уздовж її осі. При цьому вартість ремонту деталей циліндропоршневої групи становить 30-70% від ціни нових деталей. По міцності армовані порожнисті деталі не тільки конкурують, а в деяких випадках навіть перевершують суцільні профільні деталі [23]. Головною вимогою до сучасної сільськогосподарської техніки є підвищення її надійності та довговічності. Застосування процесів поверхневого зміцнення зменшить витрати та підвищить якість, оскільки створені поверхні мають вищі експлуатаційні властивості [10].

При цьому технологія зміцнювальної обробки повинна забезпечувати меншу міцність серцевини та більшу твердість поверхні [24, 25]. Змінюючи його хімічний склад тим чи іншим способом, можна отримати добру мікротвердість і стійкість поверхневого шару до фізико-механічних впливів [26]. Однак стабільність для отримання бажаних результатів і ефективність таких методів покращення поверхні залишають бажати кращого. Значною мірою складність реалізації та тривалість процесу обмежують сферу застосування цих методів. Електромеханічна обробка (ЕМО) вважається дуже перспективною.

Спосіб зміцнення робочої поверхні гільзи циліндра. Ця складна технологія термічної деформації досягається шляхом контакту електрода та обробленого компонента зі струмом низької напруги від 2 до 6 вольт, але з високою щільністю від 10⁸ до 10⁹ хв./хв. Рух інструмента і деталі здійснюється з певною швидкістю і подається в перпендикулярних один одному напрямках. [26]. У більшості випадків умови роботи сільськогосподарської техніки - це підвищена запиленість і вологість навколишнього середовища, причому ці пил і волога потрапляють в багато пар тертя. Не є винятком і щілинні з'єднання [27]. Зважаючи на тенденцію до збільшення потужності силових агрегатів, виникає необхідність підвищення ефективності шліцьових з'єднань.

Для цього деталі гартують струмом високої частоти [27]. Але в силу деяких технічних особливостей цей спосіб зміцнення не використовується при загартуванні шліцьових втулок (особливо малого діаметра), але в більшості

випадків використовується для загартування шліців на валах. При використанні рифлених оболонок з внутрішнім діаметром до 40 мм важко підібрати ефективні методи зміцнення, що призводить до їх малого ресурсу до руйнування.

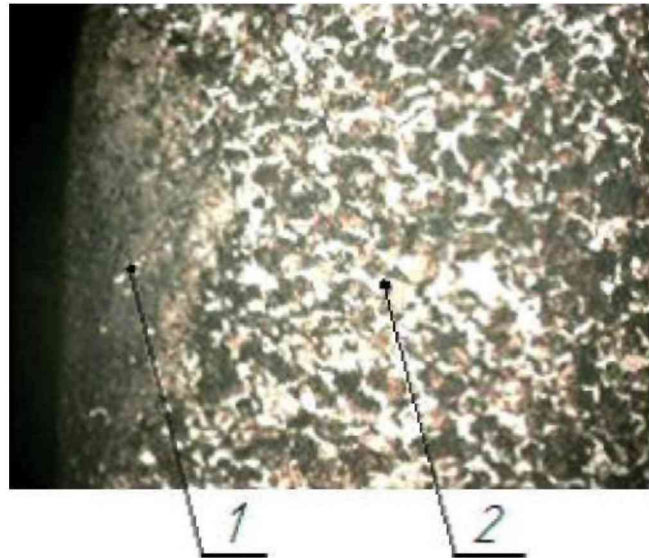


Рисунок 1.8 - Мікроструктура робочої поверхні гільзи зі сталі 40X після обробки EMЗ: 1-неорганізований мартенсит, 2-ферито-перлітна структура.

Проте автором [27] запропоновано метод електромеханічного зміцнення (EMЗ) робочої поверхні шліцьової втулки. Структура поверхні сталі 40X, армованої за технологією EMZ, показана на малюнку 1.8. Безструктурний мартенсит підвищує зносостійкість робочої поверхні, характеризується значними змінами решітки і сильною нерівномірністю та дисперсністю структури.

Методи зміцнення, пов'язані з гальванічним контактним ефектом, дозволяють обробляти деталі з досить високою продуктивністю при отриманні зміцненої поверхні з високими експлуатаційними показниками. Однак доступні на даний момент технології зміцнення в основному підходять для деталей із суцільним поперечним перерізом і не завжди підходять для деталей з порожнистим поперечним перерізом.

Крім того, на процес електроерозійного легування впливають різноманітні зовнішні фактори, у тому числі фізико-хімічні властивості електродів, що ускладнює вибір оптимальних параметрів процесу. Надані рекомендації щодо

зміцнення та ремонту деталей не знайшли підтримки ремонтного персоналу, оскільки за умов низькошвидкісного процесу товщина нанесеного електроерозійним покриттям не перевищувала 60 мкм [28]. В даний час актуальним завданням є застосування результатів інтелектуальної діяльності.

Велике значення має процес практичного значення для ремонтних служб і сільськогосподарських виробничих підприємств, для якого отримують робочі поверхні деталей з високими експлуатаційними характеристиками. Розроблено методику, за допомогою якої можна відновити робочі розміри деталі шляхом накладення шару сплаву заданого елементного складу. Це дає можливість додатково зміцнити відновну частину під впливом струмів малої густини в електролітичному середовищі.

Ця обробка збільшує адгезію між наплавленим і армованим шаром і підкладкою, Відновлюється загальний термін служби деталей, покращуються параметри граничного навантаження під час експлуатації, завдяки чому відновлені деталі працюють надійніше. Для нанесення антифрикційних покриттів запропоновано метод електродифузійної обробки (ЕДО). Призначений для створення поверхонь тертя з високими експлуатаційними показниками, а також метод використовується для ремонту деталей при ремонті циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згоряння [29].

Погіршення екологічної ситуації, зростання цін на метали та сплави, необхідність підвищення довговічності вузлів тертя, що швидко зношуються, призвели до перспективних з екологічної та енергоресурсозберігаючої точки зору розробок, в яких технології ремонту можуть істотно покращити експлуатаційні характеристики та подовжити термін служби деталей сільськогосподарської техніки.

1.3. Визначення завдань дослідження

Метою роботи є підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей сільськогосподарських машин шляхом електродифузійного зміцнення (ЕДО).

Відповідно, в роботі були визначені такі завдання:

1. Провести ЕДО дослідження низьколегованої сталі та вивчити структуру та механічні властивості шару зміцненої сталі після ЕДО.
2. Розробити розширений процес ремонту ЕДО для внутрішньої поверхні гільзи циліндра.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОДИФУЗІЙНОЇ ОБРОБКИ

2.1 Фізичні властивості «висхідної дифузії» в сталі

У 1940-х роках Горський А. А. та Конобієвський С. Т. [30, 31] відкрили ефект «дифузії в гору». Після згинання сталевих пластин, нагрітої до 500-600 °С, кількість вуглецю в зоні розтягування зменшується, а кількість вуглецю в зоні розтягування збільшується [32]. Ось чому в процесі дифузії утворюється різна кількість вуглецю, яка не спостерігається у вихідному стані сталі. Таким чином елемент дифундує з місця меншої концентрації до місця більшої концентрації до певного значення.

Подібні ефекти виникають, якщо дифузія відбувається в умовах, коли до зразка прикладаються електричні та хімічні потенціали, теплові поля, магнітні поля та різниці в полях вакансій. Основною причиною дифузійного руху елементів і компонентів, що утворюють металеві сплави, є різниця в атомному об'ємі. Отже, з енергетичної точки зору, найбільші атоми в неоднорідній області зміщення повинні переміститися в область більшого розміру, тоді як атоми з меншим розміром повинні переміститися в область меншого розміру (рис. 2.1).

Вважається, що відмінності в атомному об'ємі є основною рушійною силою процесу висхідної дифузії металів і призводять до утворення десь кластерних областей однакових або подібних типів атомів. Описаний процес називається рівноважною сегрегацією атомів у металах, яка призводить до зменшення енергії аналізованої системи та її структурування відбувається в процесі висхідної дифузії.

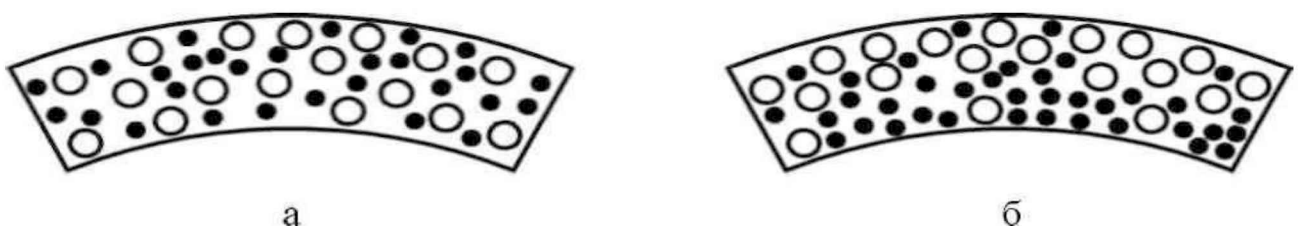


Рисунок 2.1 - Рівноважна схема поділу: а-до відпалу і після згинання, б-після відпалу

Кінець 1960-х. У 20 столітті було виявлено накопичення полонію поза зернами сплавів вісмуту і свинцю [32]. При цьому в порівнянні з об'ємною концентрація в місцях сегрегації в 100 тис. разів перевищує концентрацію в усьому об'ємі сплаву. Таким чином, завдяки такому ефекту, навіть якщо концентрація легуючого елемента в об'ємі сплаву низька, його вміст у певних ділянках можна цілеспрямовано варіювати. Прискорена дифузія на границях зерен є експериментальним фактом [32].

Порівняно з об'ємом, межі зерен неупорядковані, а атоми зміщені зі своїх позицій, тому рух легше, а енергія активації нижча. Межі зерен часто називають «короткими петлями» або шляхами, які прискорюють дифузію. Коефіцієнти дифузії всередині і зовні об'єму частинки сильно відрізняються. Дифузійний потік рухомих частинок пропорційний площі поперечного перерізу. Зі збільшенням площі збільшується потік частинок. Крім того, неоднорідність структури призводить до виникнення поля пружних напружень, а взаємодія останнього з атомами домішки призводить до аномально високої швидкості перерозподілу. спрямований рух. 33].

Коли дифузія відбувається в метастабільних металах, які зазнають структурних і фазових змін, швидкість дифузії буде змінюватися складним чином [33]. Збільшення коефіцієнта дифузії зазвичай спостерігається внаслідок виникнення нерівноважних потоків вакансій, коротких циркуляційних областей або утворення полів пружних напружень. Масовий дифузійний потік вуглецю в сталі сталого хімічного складу можна досягти шляхом створення різних градієнтів температури в досліджуваному сплаві. Сам процес передбачає наступне. Різниця температур впливає на реакційну здатність вуглецю в металевому сплаві на основі заліза: там, де температура нижча, вуглець рухається легше, ніж там, де температура вища, і концентрація вуглецю в обох областях

Те саме, що [34]. Різні температурні градієнти служать рушійною силою для процесу висхідної дифузії, що значною мірою стимулює масообмін вуглецю при постійній концентрації ($\Delta C=0$) і при від'ємних значеннях концентрації вуглецю ($-\Delta C$) в різних областях. Градієнт хімічного потенціалу, що викликає атомний потік,

визначається вакансіями, локальними значеннями концентрації атомів і значеннями щільності внутрішньої енергії [35]. Відомо також [36], що при реалізації на сталі методики поверхневої пластичної деформації в змінному магнітному полі (ППД у ЗМП) зміцнена поверхня стає енергонасиченою, збільшується об'ємна концентрація, порушується кристалічна ґратка, а фази стають енергонасиченими. проходять перший тип і другий тип переходу, а також дифузію вуглецю з області меншої концентрації в область більшої концентрації.

Виконуючи обробку описаного вище типу, виходить шарувата структура сталі, у якій фізичні властивості кожного шару відрізняються один від одного. хімічні та механічні властивості, а також мають різну будову (рис. 2.2). Збільшується твердість дислокаційно зміцненого шару. Такий шар має власні електрохімічні властивості і містить області сегрегації вуглецю, які досягають шару під час дифузії з середини деталі. Його глибина може становити 1500 мкм. Такі поверхні характеризуються наявністю дрібних капілярів, які утримують в собі мастило.

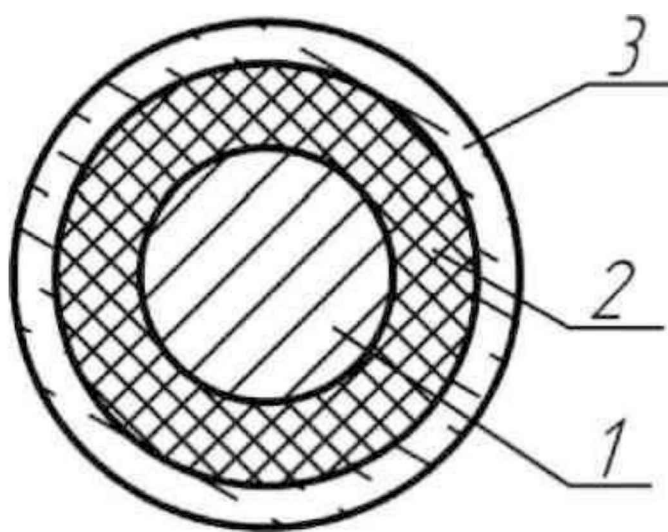


Рисунок 2.2 - Структура деталей, зміцнених методом ППД в ЗМП: 1- кількість знеуглецювання; 2-дрібнодисперсний мартенситний або цементитний дислокаційно зміцнюючий шар; 3-аморфний шар.

Є відомості [37] про те, що на поверхні тертя відбувається висхідний процес дифузії, в результаті якого елементи дифузії рухаються до цієї поверхні. Механізм цього процесу на поверхні твердого тіла такий: коли температура поверхні тертя

різко змінюється, між атомами твердого матеріалу утворюється напружене розширення, що стимулює активність атомів і вони проникають у поверхневий шар.

2.2 Моделювання процесу електродифузійної обробки порожнистих сталевих циліндрів

У реальних кристалах поряд із основними компонентами у вузлах є дислоковані атоми та вакансії [32]. Навколо кристала рухаються не тільки атоми, але й вакансії. Основним джерелом і виходом вакансій є вільна (зовнішня) поверхня. Поверхні реальних металів завжди неоднорідні. Там завжди є сходи. Ті місця, де дислокації або межі зерен виходять на поверхню, піддаються енергетичному впливу проникнення атомів у поверхневий шар [32]. Якщо енергії недостатньо, існує ризик того, що атоми не випроменять повністю (рис. 2.3).

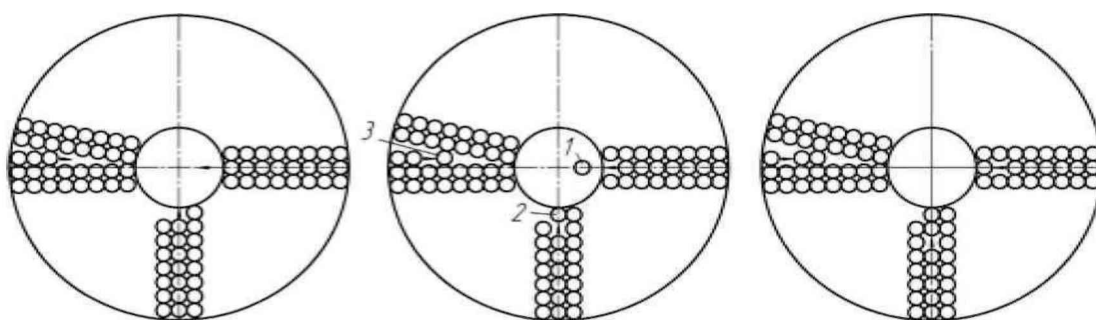


Рисунок 2.3 - Послідовні етапи генерації вакансій ЕДО та їх переміщення від внутрішньої поверхні в глибину порожнього циліндра: 1 – повний відрив атомів, 2 – «неповне» випаровування атомів, 3 – переміщення атомів уздовж меж зерен.

У цьому стані атоми знаходяться ближче до поверхні, залишаючи кристал, що більш імовірно з енергетичної точки зору. Залишаючи свої вихідні позиції, атоми утворюють вакансію, яка може бути зайнята іншими атомами глибше від поверхні, а сама вакансія також переміститься глибше, створюючи простір для дифузійного руху атомів сплаву з центральної області в область поверхні. При додатних змінах температури вакансії переміщуються з поверхні кристала всередину, а при від’ємних змінах температури – у зворотному напрямку [32].

При досягненні температур, близьких до температури плавлення, кількість вакансій може становити 0,01 частки від числа атомів. Енергетична рухливість атомів кристала забезпечує створення вакансій, що значною мірою залежить від теплової енергії, що надається сплаву. При однаковій температурі вакансії рухаються набагато швидше, ніж атоми, тому що атомів набагато більше, ніж вакансій. Коли температура сплаву наближається до межі плавлення, утворюється багато вакансій, які рухаються зі швидкостями, що у багато разів перевищують швидкість атомів. Коефіцієнт дифузії вакансій $D_v \sim D_{tr}$ становить $10^{-8} \dots 10^{-9}$ квадратних метрів/сек [32].

У роботі [38] висвітлено процес висхідної дифузії легоутворюючих елементів при пропусканні через деталь постійного струму. Вакансії з негативним зарядом мають рухливість, подібну до рухливості електронів провідності, спрямованість яких залежить від заданої полярності джерела постійного струму. Розглядаючи лише анод як оброблений порожнистий компонент, спостерігається виникнення дифузного потоку компонентів, що утворюють сплав, у радіальному напрямку від зовнішньої поверхні до внутрішньої (рис. 2.4). В результаті легуючі елементи, особливо хром, переносяться на внутрішню поверхню порожнистого циліндра, в тому числі і на місця, звільнені залізом, що потрапило в розплав.

Цей рух потоку вакансій узгоджується за розміром з рухом потоку атомів елементів сплаву, але в протилежному напрямку. є частиною сплаву $J_v = - \sum^k$

J_i . Від інтенсивності руху залежить Потенціал середовища, в якому відбувається лікування. Ця залежність описується наступним рівнянням (моль/с):

$$j_v = \frac{1}{2\pi l R_1} \frac{dN_v}{dt} - D_i^3 \frac{\partial \mu_i^3}{\partial x^1} \quad (2.1)$$

де k - кількість компонентів;

j_v - щільність потоку, моль/(мм³ с);

dN_v/dt - частота генерування за наявності електричного струму;

R_1 - внутрішній радіус циліндра, мм;

μ_i^e - хімічний потенціал катіону, Дж/моль;

i

D_i^e - коефіцієнт дифузії i -го компонента, $\text{мм}^2/\text{с}$;
 l - висота циліндра, мм .

$$J_v = -\sum^k J_i.$$

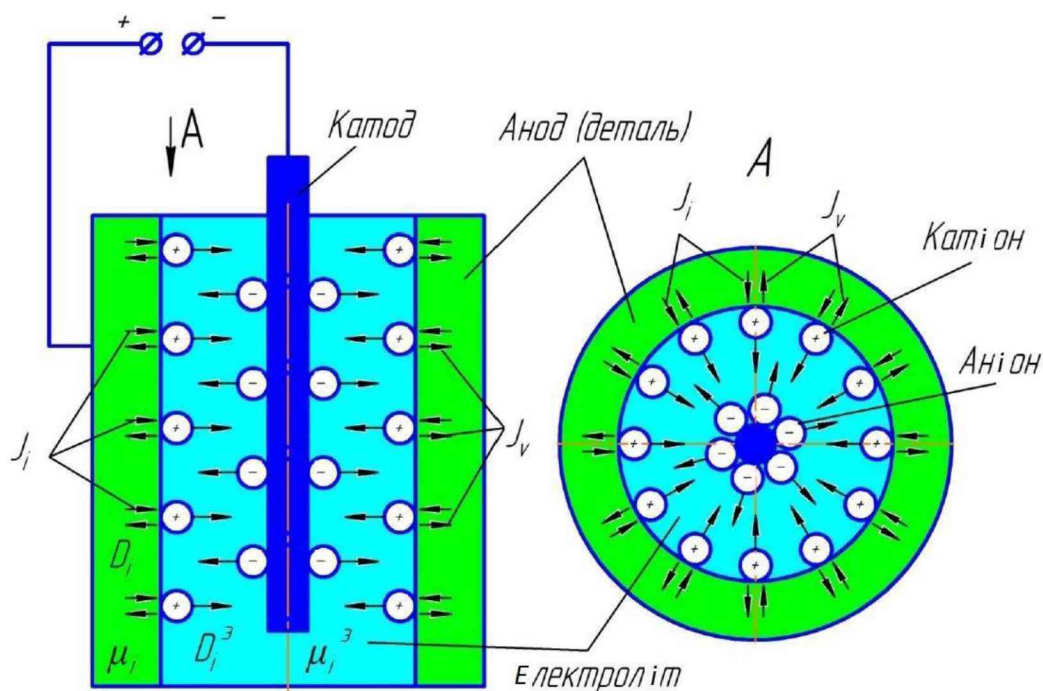


Рисунок 2.4 - Схема ЕДО порожнистого циліндра: J_v - потік вакансій, J_i - потік сплавотворюючих компонентів

$$W = zeFm_a^* \sum_{i=1}^k L_{ik} z_k$$

Водночас не можна ігнорувати вплив електричного поля на генеровані катіони, який можна розглядати через співвідношення коефіцієнта взаємності Онзагера, який враховує термодинамічний потік і постійність кожного легуючого елемента, що міститься в ньому. Сплав, значення

отримаємо:

$$J_v = \sum_{i=1}^k \left(D_i \frac{\partial \mu_i}{\partial x} - \frac{W}{\sigma} D_i^e \frac{\partial \mu_i^e}{\partial x} \right) : \left(1 + \frac{W}{\sigma} \right) \quad (2.2)$$

де σ - провідність сплаву, $\text{см}/\text{мм}$;

L_{ik} –коефіцієнти взаємності, що підпорядковані співвідношенню Онзагера

$$L_{ik} = L_{ki};$$

z -кількість електронів поодинокій реакції на аноді;

D_i - коефіцієнт дифузії компонента в сплаві, $\text{мм}^2/\text{с}$;

e - величина заряду негативно заряджених частинок атома, Кл;

z_k - ефективний заряд іона, що знаходиться у вузлі кристалічної решітці, кл;

F - число Фарадея, кл/моль;

m_a - маса атома у сплаві, кг;

μ_i - хімічний потенціал елемента, Дж/моль.

Потік вакансій, описаний рівнянням 2.2, стимулює дифузійний рух інгредієнтів, що утворюють сплав, і описується наступним рівнянням:

$$D_i = a^2 v_i \left(c_V + c_i \frac{\partial c_V}{\partial c_i} \right) \quad (2.3)$$

де c_i - концентрація сталі, моль/м³ ;

c_V - концентрація вакансій, моль/м³;

a – параметр решітки;

v_i - частота вакансій, с⁻¹ .

Враховуючи, що значення мають певний градієнт, отримуємо наступні залежності.

$$D_i \frac{\partial c_i}{\partial x} = \frac{D_i \frac{\partial \mu_i}{\partial x} - \frac{W}{\sigma} D_i^2 \frac{\partial \mu_i^2}{\partial x}}{1 + W/\sigma} \quad (2.4)$$

Підсумовуючи, маємо зворотну залежність між коефіцієнтом дифузії, хімічним потенціалом зовнішнього середовища (електроліту або оксидної плівки), дифузією компонентів, що входять до складу сплаву, і пряму залежність від тієї ж дифузії компонентів, що впливає на електропровідність обробленої деталі. Тобто за рахунок зменшення коефіцієнта дифузії та потенціалу зовнішнього середовища при збільшенні електропровідності анода можна отримати максимальну інтенсивність дифузії компонентів. Аналіз рівняння (2.4) дозволяє встановити один із принципів.

Електродифузійна обробка: якщо на поверхні анода, тобто зовнішньому середовищі, є оксидна плівка, ефективність обробки буде покращена. У цьому випадку потік вакансій вглиб анода і зворотна дифузія сплавоутворюючих інгредієнтів будуть більшими, ніж при безпосередньому контакті електрода з

рідким електролітом. Під час електродифузійного процесу ці умови досягаються за рахунок утворення на поверхні анода оксидної плівки, в якій хімічний потенціал і коефіцієнти дифузії сплавоутворюючих компонентів значно нижчі, ніж в електроліті.

Знак електричного потенціалу призводить до зміни концентрації вакансій і основного напрямку їх руху, що відображається на дифузійних властивостях анодної складової. Якщо електрохімічний процес протікає оборотно на електроді при постійній температурі і тиску, то відношення активності за наявності струму (a_{el} , моль/м³) до активності за відсутності струму (a моль/м³) можна виразити за допомогою формули:

$$\frac{a_i}{a_i^{эл}} = \exp \frac{zF}{RT} \Delta\phi \quad (2.5)$$

де R - універсальна постійна, Дж/мольК;

T – температура, °С;

$\Delta\phi$ - електричний потенціал, В.

Розрахункова схема електродифузійної обробки порожнистого циліндра наведена на рисунку 2.5. Спочатку концентрація леگوутворюючих компонентів практично постійна по всьому поперечному перерізу порожнистої сталеві деталі. Спочатку на зовнішній поверхні порожнистого циліндра знаходиться повітря з температурою 825 °С. На внутрішню поверхню порожнистого циліндра нанесіть електроліт (наприклад, розплавлений натрій тетраборат) за температури 825 °С. Святкування постійної температури по всьому об'єму сплаву Порожнистий профіль На початку тесту приймаємо наступну позицію:

$$T(R, t = 0) = T_0 \quad (2.6)$$

де T_0 - початкова температура нагрітого порожнистого циліндра.

Кінцева температура T_k порожнистого циліндра в результаті охолодження повітря після ЕДО дорівнює температурі навколишнього середовища.

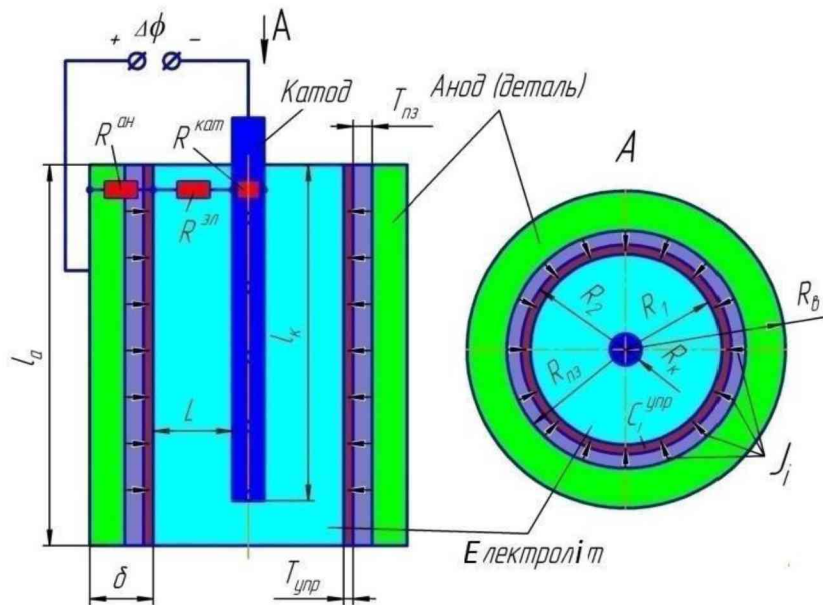


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема електродифузійної обробки порожнистого циліндра: l_a - висота циліндра (анода), l_k - висота катода, L - відстань між анодом і катодом, δ - товщина стінки циліндра, R_1 - внутрішній радіус циліндра Циліндр, R_2 — зовнішній радіус циліндра, R_2 —радіус зміцнюючого шару, $R_{нз}$ —радіус перехідної зони дифузійного шару, R_k —радіус катода, $T_{зміц}$ —товщина зміцнюючого шару, $T_{нз}$ - товщина перехідна зона дифузійного шару, $R_{кат}$ - опір катода, $R_{ел}$ - опір електроліту, $R_{ан}$ - опір анода

Відповідно до ЕДО між анодом (порожнистим циліндром) і катодом існує постійний потенціал. Нехай тривалість ЕДО становить 2 години. Відповідно до ЕДО, дифузійний потік сплавутворюючих інгредієнтів через циліндричну поверхню становить (моль/с):

$$J_i = 2\pi D_i l_a \frac{\Delta C}{\ln \frac{R_{нз}}{R_1}}, \quad (2.7)$$

де ΔC - градієнт концентрації, моль/мм³.

Граничні умови - Модель є центросиметричною. Для спрощення розрахунків дифузії вздовж осі порожнистого циліндра нехтуємо. Дифузія вважається одновимірною, тобто в одному напрямку: по радіусу порожнистого циліндра. Співвідношення площ анода і катода, що контактують з електролітом порожнистого циліндра ЕДО, становить:

$$S = \frac{S_a}{S_k} = \frac{2\pi R_1 l_a}{2\pi R_k l_k + \pi R_k^2} = \frac{2R_1 l_a}{R_k(2l_k + R_k)} \quad (2.8)$$

де S_a - площа анода, мм²; S_k - площа катода, мм²; l_a - висота анода, мм;
 l_k - висота катода, мм; R_k - радіус катода, мм.

Швидкість електрохімічної реакції за ЕДО

$$\vartheta = \frac{S_a i}{zF} = \frac{2\pi R_1 l_a i}{zF} \quad (2.9)$$

де ϑ - швидкість електрохімічної реакції на аноді, моль/с; i - щільність струму, А/мм².

Відомо, що пасивація анода сприяє збільшенню його площі, навіть якщо збільшується відносна площа анода відносно катода. Крім того, збільшення відстані між електродами викликає підвищення напруги в електроліті. Отже, ці фактори сприяють висхідній дифузії легуючих елементів уздовж ЕДО. Опір електролізера під час електродифузійної обробки становитиме

$$R_{заг} = R^{кат} + R^{ел} + R^{ан} \quad (2.10)$$

де $R^{кат}$ - опір катода, Ом;

$R^{ел}$ - опір електроліту, Ом; $R^{ан}$ - опір анода, Ом.

Збільшення площі анода сприятиме зниженню його опору, тоді як збагачення електроліту оксидом заліза зменшить опір розплаву, що в кінцевому підсумку призведе до збільшення струму i , отже, дифузії електроліту. леگوутворюючих інгредієнтів до насиченої поверхні.

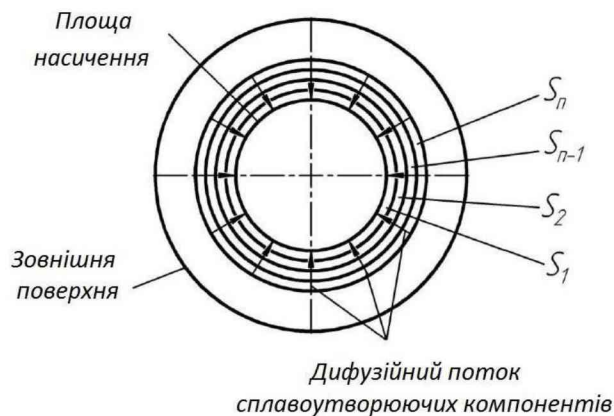


Рисунок 2.6 - Дифузійний потік сплавотворюючих компонентів розподіляється на основні області: S_1, S_2, S_{n-1}, S_n - площа поперечного перерізу зразка, перпендикулярного дифузійному потоку.

Для випадку ЕДО порожнистого циліндра з катодом, розміщеним усередині

анода, площа поперечного перерізу зразка, перпендикулярного дифузійному потоку, буде змінною величиною. Розділимо зразок на кілька основних частин з однаковими кроками між ними (рис. 2.6). Площа поперечного перерізу порожнистого зразка зменшується вздовж напрямку дифузійного потоку під час ЕДО ($S_1 < S_2 < S_{n-1} < S_n$). Тому щільність дифузійного потоку на ЕДО в порожнистому циліндрі зазвичай становить:

$$j_n = \dot{I}_i, \quad (2.11)$$

S_n

де j_n - щільність дифузійного потоку компонентів, моль/(мм²с);

S_n - площа перерізу зразка перпендикулярного дифузійному потоку, мм².

У моделі розглянемо кільце: $R_1 \leq R \leq R_{пз}$. Щільність дифузійного потоку на одиницю площі поверхні в сплавоутворюючому складі буде значенням змінної:

$$j = \frac{D_i}{R} \frac{\Delta C}{\ln \frac{R_{пз}}{R_1}} \quad (2.12)$$

де R – поточний радіус, м.

Тому щільність дифузійного потоку сплавоутворюючих інгредієнтів залежить від насичення внутрішньої поверхні порожнистого циліндра:

$$j_1 = \frac{D_i}{R_1} \frac{\Delta C}{\ln \frac{R_{пз}}{R_1}} \quad (2.13)$$

Відповідно до ЕДО порожнистого циліндра, щільність дифузійного потоку компонентів, що утворюють сплав, збільшується в міру просування поверхні насичення, оскільки площа поперечного перерізу зразка для вертикального дифузійного потоку зменшується. Крім того, слід зазначити, що конфігураційні ефекти виникають під час процесу ЕДО порожнистих деталей. Концентрація легуючих елементів в армованому шарі порожнистого циліндра після ЕДО становить:

$$C_i^{упр} = C_i^0 + \frac{C_i^п S_{пз}}{S_{упр}} \quad (2.14)$$

де C^0 - початкова концентрація легуючого елемента, мас. %;

C^n - концентрація елемента, що

переходить у зміцнений шар при ЕДО, мас. %;

$S_{пз}$ -площа перехідної зони дифузійного шару при ЕДО, мм²;

$S_{міц}$ -площа зміцненого шару після ЕДО, мм².

В залежності від радіальних координат:

$$C_i^{упр} = C_i^0 + \frac{C_i^n(\pi R_{пз}^2 - \pi R_2^2)}{\pi R_2^2 - \pi R_1^2} = C_i^0 + \frac{C_i^n(R_{пз}^2 - R_2^2)}{R_2^2 - R_1^2} \quad (2.15)$$

Для досліджуваної низьколегованої сталі концентрація хрому в загартованому шарі порожнистого циліндра після ЕДО становить:

$$C_{Cr}^{упр} = C_{Cr}^0 + \frac{0,1S_{пз}}{S_{упр}} \quad (2.16)$$

Або в залежності від радіальних координат:

$$C_{Cr}^{упр} = C_{Cr}^0 + \frac{0,1(R_{пз}^2 - R_2^2)}{R_2^2 - R_1^2} \quad (2.17)$$

За даними спектрального аналізу леگوутворюючих компонентів поперечного перерізу зразка, товщина перехідної зони дифузійного шару T_{pz} під час процесу ЕДО складає в середньому 400 - 600 мкм. Підвищені концентрації легуючих елементів можуть змінювати механічні властивості ремонтних поверхонь зношуваних деталей сільськогосподарської техніки та призводити до структурних перетворень. У той же час не можна не розглянути можливість отримання зміцнюючої фази, яка є легуючою фазою, утвореною легуванням елементів між собою та з вуглецем (карбідом), киснем (оксидом), залізом та іншими елементами в складі металу.

Висновки до розділу 2

1. Описує фізичні властивості та ефект сегрегації висхідної дифузії в умовах прикладеного до зразка електричного потенціалу, різниці хімічних потенціалів, теплового поля, магнітного поля та поля вакансій.

2. Створено модель процесу електродифузійної обробки порожнистих сталевих циліндрів для опису висхідного дифузійного потоку. Легуючі елементи на внутрішній поверхні, які зміцнюють її і дозволяють визначити їх концентрацію в зміцненому шарі.

РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Форма, розмір і хімічний склад зразків

При відборі матеріалів дослідження виходили з поставлених цілей і завдань даної роботи та переліку марок сталі, що використовуються для виготовлення деталей сільськогосподарських машин (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Сталі, що використовуються у виробництві деталей сільськогосподарської техніки [39]

Марка сталі	Призначення
40X	Втулки плугів, вали, польові дошки, осі, кільця, робочі механізми сільськогосподарських машин, плунжери, відрізки кормозбиральних комбайнів, напрямні, кулачки, колінчасті та розподільні вали, зірочки, тяги, Шатуни, труби, шестерні головного вала.
40ХН, 45ХН	Циліндр, півкільце, вал, вал, шатун, шестерня, Зчеплення, роликові та зубчасті ланцюги, вали та шестерні, важелі, тяги, деталі гусеничних приводів.
40Г, 40Г2	Сошник, гільза циліндра, втулка, робочий механізм Сільгосптехніка, вали колінчасті та карданні, осі, штоки поршні, важелі, півосі, розподільні вали.
40ХР	Підвищена міцність осей, осей, болтів і гайок.
38ХС, 40ХС	Муфти, вали, компоненти гусеничного приводу, клапани, шестерні, пальці та інші компоненти, що працюють в умовах високого динамічного навантаження
40ХГ	Стрижень, вал, шестерня, ролик.
38Х2Н2	Поворотний вал, шестерня, зубчастий вал, компонент Кріплення та інші невід'ємні деталі працюють у високих умовах Деталі зі складною конструкцією піддаються навантаженню.

Для проведення досліджень зміцнення деталей та встановлення закономірності між параметрами обробки зміцнення ми вибрали декілька сталей для сільськогосподарських машин із постійним вмістом вуглецю та легованих різними елементами. Серія досліджень включає зразки наступних марок сталі: 40X, 40Г2, 40ХН, 40ХР, 40ХС, 40ХН, 38Х2Н2. Зразки виготовляли у формі циліндрів із суцільним перерізом і порожнистих циліндрів висотою від 15 до 70

мм, а також досліджували призматичні зразки з суцільним перерізом у формі паралелепіпедів з геометричними розмірами 10x10x30 мм. Щоб виключити вплив різного масового вмісту цього елемента на підвищення мікротвердості, спричинене ЕДО, були обрані марки сталі з приблизно однаковим вмістом вуглецю.

3.2. Пристрої та режими електродифузійної обробки

Суцільний зразок поперечного перерізу з'єднується з джерелом живлення за допомогою зварювання (анод). Помістіть струмопровід у корундову трубку, нанесіть на кінець трубки розчин пасти з силікату натрію та порошку оксиду алюмінію та просушіть протягом 24 годин. Подібним чином виготовляють катод (допоміжний електрод) (рис. 3.1).

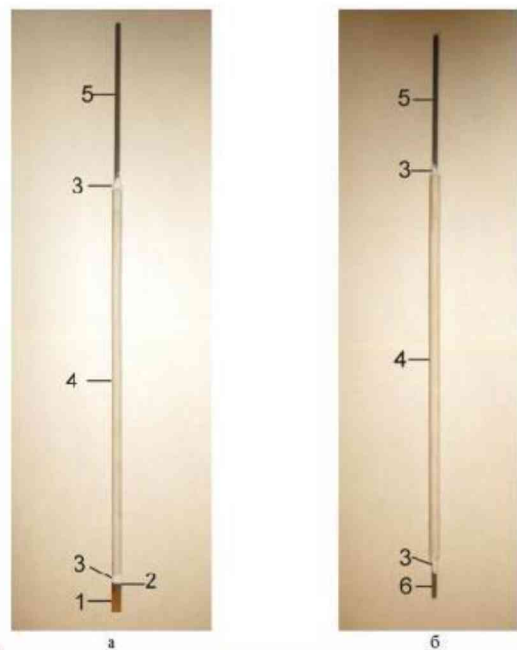


Рисунок 3.1- Пристрій робочого електрода ЕДО (а) і допоміжного електрода (б): 1 - весь зразок, що обробляється (анод), 2 - зварне з'єднання, 3 - термостійка шпаклівка, 4 - корундова трубка, 5 - джерело живлення з низьковуглецевої сталі.
, 6 – катод

Пристрій робочого електрода порожнистої частини ЕДО показано на рисунку 3.2. Джерело струму кріпиться до порожнистої деталі за допомогою зварного з'єднання з верхньою торцевою або бічній поверхні.

блок призначений для генерування та підтримки заданих параметрів струму під час обробки зразків і приготування електроліту. До його складу входять: понижуючий автотрансформатор 1, випрямний пристрій 2 і схема його з'єднання з автотрансформатором. Контрольно-вимірювальний блок складається з потенціометра 3, амперметра 4, приладу для вимірювання температури 5 і вольтметра 6. Нагрівальний агрегат складається з печі опору з вертикальною шахтою 7, в якій встановлена порожниста частина 8, що містить електроліт. Оброблений зразок щільно закривають знизу пробкою 10, якою фіксують зразок для ущільнення спеціальним розчином з термостійкими властивостями. загартований зразок

Прикріплений до металевого дроту діаметром три міліметри дріт з'єднується з плюсовою клемою – анодом (рисунок 3.3), а допоміжний електрод – з негативною клемою – катодом. Основні характеристики параметрів струму, процесу та температури ЕДО встановлюються та контролюються в межах їх значень. Агрегат вмикається/вимикається за допомогою пристрою живлення та відключення. Електроліт з малою окислювальною здатністю одержують з порошкоподібної бури (тетраборату натрію), яку розплавляють у шахтній електропечі при атмосферному тиску в діапазоні температур від 800 до 850°C. Далі через отриманий розплав протягом 1-3 годин пропускають постійний струм щільністю 0,06-2,5А/см².

За допомогою цієї обробки розплаву вода кристалогідрату видаляється, а сам розплав насичується оксидом заліза для отримання кращої електропровідності. На додаток до вищезазначених електролітів, зразки сталі також піддавали ЕДО з використанням розплавленого хлориду натрію. Схема процесу електродифузійної обробки порожнистих деталей наведена на рисунку 3.4. Потік процесу армування запропонованого пристрою здійснюється в наступній послідовності.

З'єднати електроди з порожнистим зразком за допомогою дугового зварювання в ручному режимі. Потім заглушку кріплять до нижньої частини

пустотілого зразка і щільно і герметично закріплюють останній за допомогою термостійкої шпаклівки.

Оброблені порожнини зразка заповнювали електролітом так, щоб їх об'єм заповнював весь поздовжній переріз деталі, що зміцнюється. Після цього помістити зразок з джерелом живлення в корпус печі і почати нагрівання.

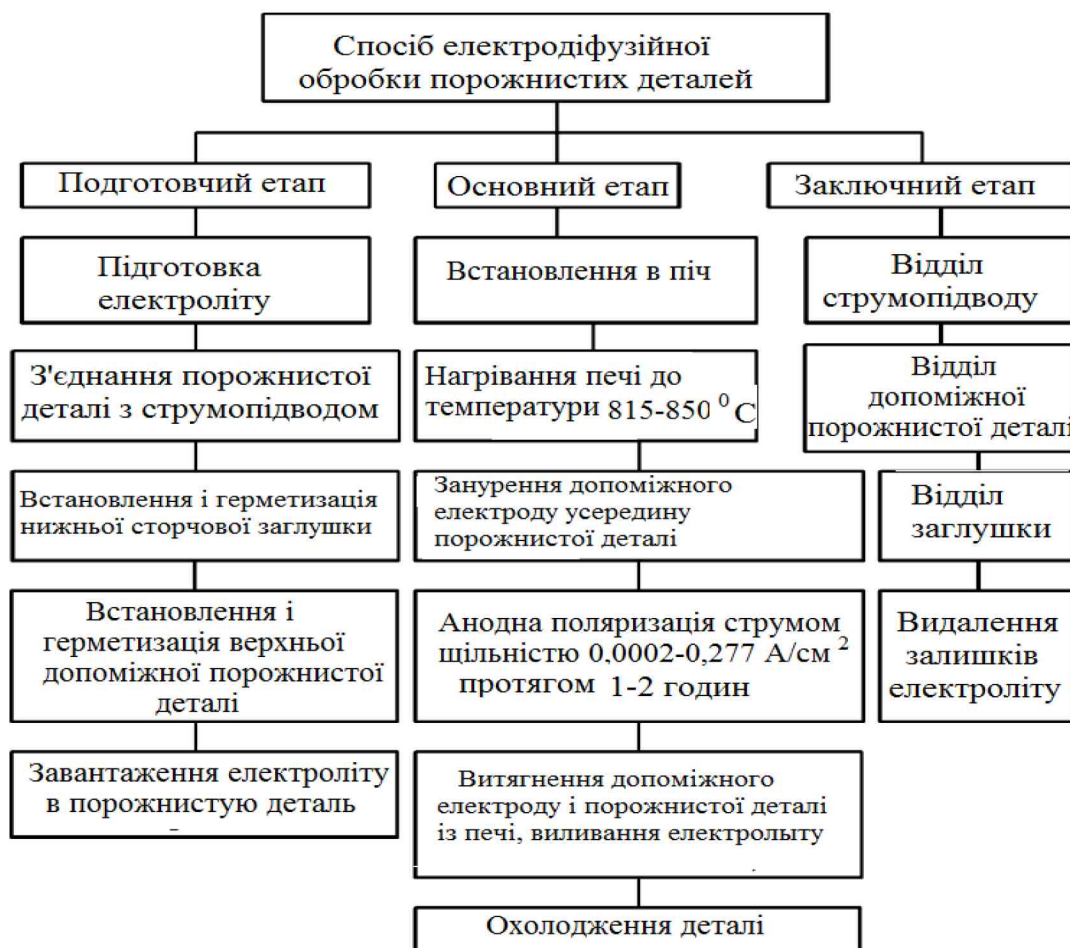


Рисунок 3.4 – Схема процесу електродифузійної обробки порожнистих деталей

При досягненні заданої температури обробки (від 825 до 880 °С для різних зразків) катод встановлюють уздовж своєї осі всередині порожнистого зразка і включають струм щільністю від 0,0002 до 0,277 А/см². Час обробки 2 години. Під час процесу ЕДО параметри контролюються та налаштовуються. Після ЕДО пристрій повністю вимикали, а оброблений зразок видаляли з приладу разом із катодом. Далі з проби видаляють електроліт і нормалізують його.

Після того, як компоненти охолонуть до температури навколишнього

середовища, від'єднайте від них електроди, допоміжні компоненти та заглушки та видаліть залишки електроліту. Для обробки деталей суцільного перерізу використовують пристрій, принципова схема якого зображена на рисунку 3.5.

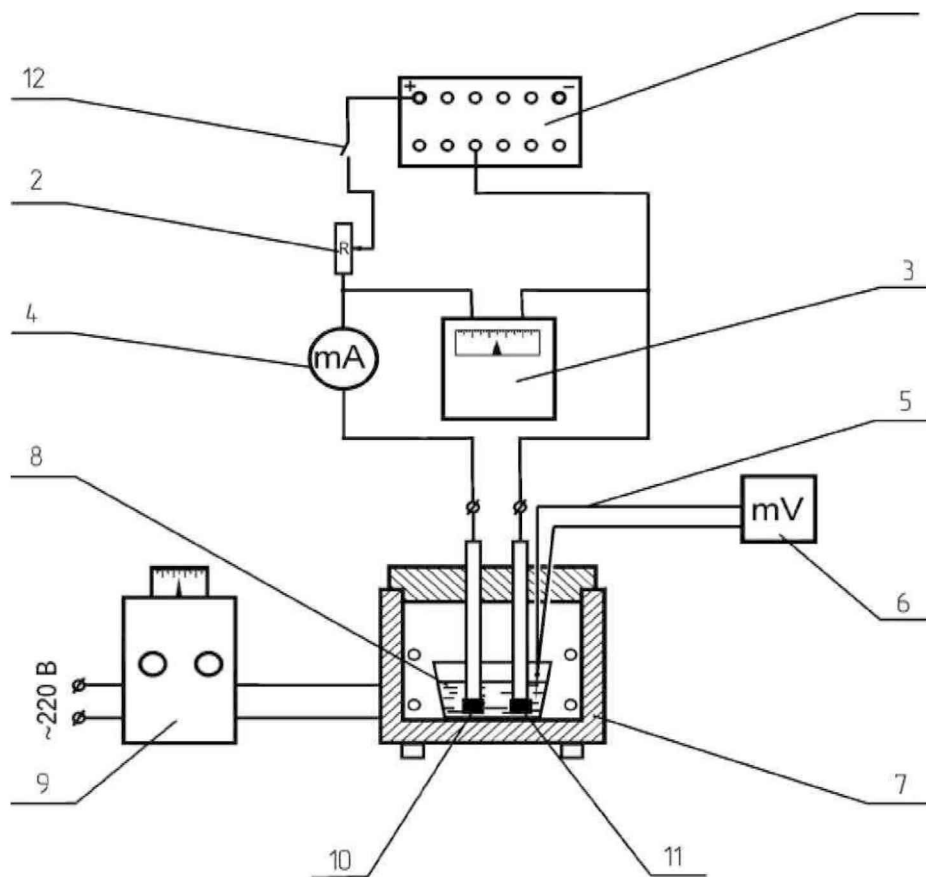


Рисунок 3.5 – Частковий план пристрою ЕДО безперервної секції: 1- Акумуляторна батарея; 2-Регулятор опору; 3-Потенціометр; 4-Амперметр; 5- Температурний вимірювач; 6 Вольтметр; 7 Шахова піч опору; 8-Тигель, заповнений електролітом; 9 —Понижуючий автотрансформатор; 10— покращений зразок; 11—допоміжний електрод; 12—пристрій живлення та відключення.

Поляризаційний блок складається з джерела струму у вигляді батареї номінальною ємністю 42 А-год і реостата для регулювання струмових характеристик. До блоків вимірювання та контролю входять потенціометри, міліамперметри та хромонікелеві термопари з мілівольтметрами. включаючи нагрівальний пристрій Гірнична електропіч з корундовим тиглем, заповненим

електролітом посередині, і понижуючим автотрансформатором. Підключіть зразок до позитивного контакту батареї, а допоміжний електрод – до негативної клеми. Через джерело живлення і знеструмлювач подається струм і знеструмлюється пристрій. Процес обробки суцільних зразків поперечного перерізу включає такі основні операції.

Спочатку тигель з електролітом нагрівають у печі до температури 815—850°C. Потім, коли температура в печі досягає заданого значення, що контролюється приладом для вимірювання температури і вольтметром, допоміжний електрод і зразок порівняння встановлюють в ємність з електролітом. Далі на електроди подається струм і за допомогою резисторного стабілізатора в мережі встановлюється напруга на електродах. Різниця потенціалів на електродах контролюється потенціометром.

За заданих параметрів процесу анодна поляризація проводиться протягом 1-2 годин при щільності струму від 0,005 до 0,090 А/см² в залежності від досліджуваного зразка. За відхиленням сили струму і напруги на електроді його регулюють через реостат. Після закінчення процесу обробки ключ вмикають і загартований зразок виймають з печі і охолоджують на повітрі до температури навколишнього середовища.

3.3. Методи дослідження

Мікротвердість HV зміцненого зразка вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3М, навантаження на індентор становила 200 г, відповідне навантаження 1,96 Н. При цьому відстань між індентором зберігає кількість відбитків, яка дорівнює мінімальному значенню суми діагональних розмірів трьох відбитків відносно центру першого відбитка. вимірювання мікротвердості становить від 8,4% до 14,8%, вірогідність 95%.

Після визначення середнього значення мікротвердості поверхні HVn (загартована поверхня на глибину 100 мкм) і нижньої (3-5 мм від поверхні) HVn Поперечні перерізи зразка, розрахувати їх співвідношення K:

$$K = \frac{HV_{\text{п}}}{HV_{\text{н}}} \quad (3.1)$$

Глибину зміцнення визначають, оцінюючи зниження мікротвердості в напрямку від зміцненої поверхні до підстилаючого шару і встановленої концентрації легуючих елементів у цьому ж напрямку. Після ЕДО) і еталонну (зразок перед обробкою) поверхні тестували в однакових заданих умовах. Для оцінки зносостійкості активних з'єднань з посиленими компонентами було забезпечено відтворення типу кінематики з'єднання, що визначається положенням компонентів відносно один одного, геометрією та розмірами, типом руху компоненти.

Доступ до деталей, а також можливість швидкої та легкої збірки. Досліджувані зразки сталі були оброблені для отримання контактної поверхні між сполученими частинами, яка становила принаймні 90% від розрахункового значення з точки зору площі точки контакту. Поверхні, що сполучаються, кріпляться на фрикційній машині за схемою «дискова колодка» (рис. 3.6). Подавати мастило без добавок в зону тертя в обсязі, пропорційному площі контакту поверхні тертя.



Рисунок 3.6. - План випробування колодок на знос: 1-тестовий зразок, 2-еквівалент.

Деталь «диск» виготовлена зі швидкорізальної сталі P18 і має такі геометричні параметри: зовнішній діаметр - 50 мм, ширина - 12 мм. Ширина досліджуваного зразка 10 мм. Використовуйте методи геодезії та картографування для визначення та контролю точок контакту поверхні тертя, а відносна похибка розрахункової поверхні контакту не повинна перевищувати 10%. Коли площа контакту досягне необхідного значення, позначте тестовий зразок у зоні без контакту та вкажіть взаємне розташування деталей. Тест виконується наступним чином.

За допомогою спеціальних гайок антикорпусний «диск» встановлюється на приводний вал машини. При цьому контролюється радіальне биття, при обертанні «диска» вручну радіальне биття не повинно перевищувати 0,1 мм. Контроль здійснюється за допомогою частотоіндикатора IP-10 першої категорії точності. Після завершення регулювання встановлюють дослідний зразок «колодку» на кронштейн фрикційної машини і фіксують її положення. Далі пристрій переходить в робоче положення. Вимкніть муфту верхнього вала та встановіть захисну кришку.

Щоб уникнути впливу навантаження, викликаного незбалансованою масою жорстко закріпленої каретки, всередині машини встановлені противаги. Встановіть зразок і сполучне тіло на фрикційній машині та сформулюйте вказаний спосіб подачі мастила відповідно до кількості мастила, інтервалу подачі та способу подачі в зону тертя. Запустіть машину на холостому ході та спостерігайте за станом змащення мастильний матеріал. Розминка триває 5-8 хвилин. Потім рухомий зразок (відносне тіло) переміщується з відносною швидкістю переміщення 7,9 і 20,5 м/хв, що забезпечує задану швидкість ковзання, після чого зразок приводиться в контакт і прикладається задане навантаження 98 Н.

Прикладіть до них, поступово затягуйте навантаження на болт і за показаннями потенціометра визначте значення моменту тертя. Температуру та момент тертя вимірювали кожні 30 хвилин випробування. Індикатор зносу закріплюється наступним чином: - Перший показник проводиться після часу

припрацювання поверхні тертя, який визначається за встановленою системою величин тертя і стабільної температури деталей; - Друге зчитування знімається щоразу, коли вимірювання прийняттого методу тестування можна виконати з високим ступенем надійності.

Після закінчення випробування зупинити фрикційну машину, витягти дослідний зразок, очистити його розчинником (ацетоном), лінійно виміряти геометрію деталі 3 рази на кожній площині, визначити масу зразка та середнє арифметичне значення вимірювання розраховуються. Для вимірювання зносу використовувався цифровий штангенциркуль ШЦС-1-200 з точністю вимірювання 0,01 мм. Загальний знос досліджуваного зразка визначали за зміною маси до та після випробувань Ваги аналітичні ВЛА-200М з першокласною точністю (до 0,1 мг).

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗРАЗКІВ, ОБРОБЛЕНИХ ЕЛЕКТРОДИФУЗІЄЮ

4.1. Результати випробувань зразків

Параметри ЕДО та результати випробувань твердих зразків поперечного перерізу наведені в таблиці 4.1. Наведені дані показують, що ЕДО і наступна нормалізуюча обробка можуть підвищити мікротвердість суцільних зразків низьколегованої сталі поперечного перерізу в 1,30-3,08 разів на поверхні і на глибині 200-350 мкм.

Таблиця 4.1 - Параметри ЕДО та результати випробувань твердих зразків поперечного перерізу

№ зразка	Марка сталі	Щільність	T, °C/t, ч	Відстань між катодом і анодом, мм	Співвідношення площини анода і катода	Товщина зміцненого шару, мкм.	$\frac{HV_D}{HV_H}$	K
1	40x	0,070	815/ 1	25	6,96	200	389,8/ 261,5	1,61
2	40Г2	0,022	850/ 2	19	3,93	250	216,2/ 163,6	1,44
3	40Г2	0,042	850/ 2	19	3,75	300	175,4/ 134,3	1,43
4	40Г2	0,015	850/ 2	19	3,73	280	232,8/ 157,5	1,61
5	40ХН	0,020	850/ 2	19	4,27	200	377,1/ 228,5	1,78
6	40ХР	0,032	850/ 2	25	6,36	300	439,3/ 232,4	1,99
7	40ХР	0,020	850/ 2	24	6,31	200	383,5/ 232,3	1,77
8	40ХС	0,023	850/ 2	18	5,39	350	271,8/ 198,5	1,48
9	40ХС	0,033	850/ 2	23	3,67	225	232,3/ 181,0	1,40
10	40ХГ	0,015	850/ 2	36	11,82	200	449,7/ 152,5	3,18
11	38Х2Н2	0,095	850/ 2	19	3,99	300	502,7/ 315,3	1,71
12	40Х	0	850/ 2	-	-	-	261,5/ 261,5	1,00

Максимальне збільшення мікротвердості поверхні після обробки Результати електродифузійної обробки спостерігали на легованій хромом і марганцем сталі (зразок № 10), легованій хромом і бором сталі (зразок № 6) і легованій сталі з хромом і нікелем (зразки № 5, 11). Мікротвердість поверхневого шару сталі 40Х (зразок № 12) не підвищувалася при витримці в тетрабораті натрію при температурі 850 °С без електрики. Параметри ЕДО та результати випробувань порожнистих зразків наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Параметри ЕДО порожнистих зразків і результати їх випробувань

№ зразка	Марка сталі	Електроліт	Температура ЕДО, °С/щільність струму, А/см ²	Співвідношення площини анода і катода	Відстань між катодом і анодом	Товщина зміцненого шару,	$\frac{HV_{\text{П}}}{HV_{\text{Н}}}$	К
1	40Г2	Тетраборид	825/0,030	4,06	2,57	360	203,7/173,9	1,28
2	40Г2	Тетраборид	825/0,025	7,69	3,49	310	216,1/162,6	1,45
3	40Г2	Тетраборид	825/0,0012	8,20	4,94	310	206,6/173,8	1,30
4	40ХР	Тетраборид	825/0.039	4,76	4,85	280	276,1/215,9	1,40
5	40ХС	Тетраборид	825/0,034	6,42	4,95	260	263,5/205,1	1,40
6	40ХС	Тетраборид	825/0,136	4,41	5,43	310	244,7/194,7	1,37
7	40ХГ	Тетраборид	825/0.012	49,1	23,95	210	339,3/196,0	1,87
8	40ХГ	Тетраборид	825/0.011	29,1	16,74	260	275,1/178,8	1,67
9	40ХН	Тетраборид	880/0,287	9,32	3,56	110	152,5/138,6	1,21

Дані таблиці 4.2 показують, що ЕДО в тетраборид натрію з наступним нормалізуванням дозволяє підвищити мікротвердість внутрішньої поверхні порожнистих циліндрів з низьколегованої сталі в 1,18-1,77 рази на глибину 200-350 мкм. У зразку з найбільшим збільшенням спостерігалася найменша товщина шару армування (зразок № 7), і навпаки, з найбільшим збільшенням

спостерігалася найменша товщина шару армування. Приріст мікротвердості найменший при товщині зміцнюючого шару (зразок № 1). При використанні розплавленого хлориду натрію як електроліту під час процесу ЕДО збільшення мікротвердості внутрішньої поверхні було мінімальним при найвищій щільності струму розглянутого зразка (зразок 9).

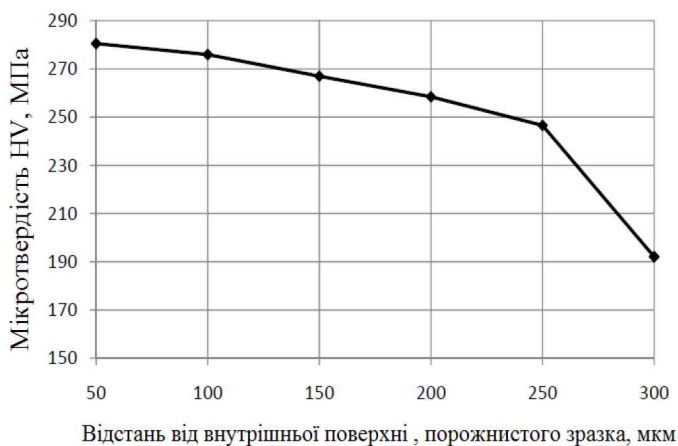


Рисунок 4.1 - Розподіл мікротвердості сталі 40XR ЕДО та поверхні порожнистих зразків після нормалізації

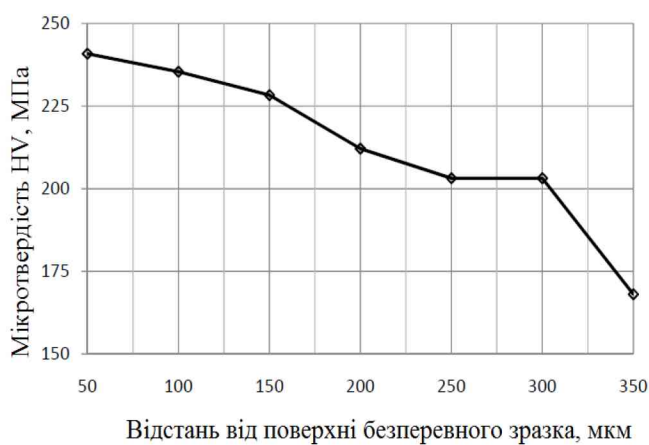


Рисунок 4.2 - Розподіл мікротвердості поверхні твердого зразка сталі 40XR після ЕДО та нормалізуючої обробки

Наприкінці основної фази обробки всі зразки охолоджували на повітрі. Після ЕДО зразки вирізали і згодом виготовляли поперечні та Мікроподрібнений уздовж. На рисунках 4.1-4.5 показано характеристики зміни мікротвердості з глибиною насиченої поверхні сталі після електродифузійної обробки та нормалізуючої обробки.

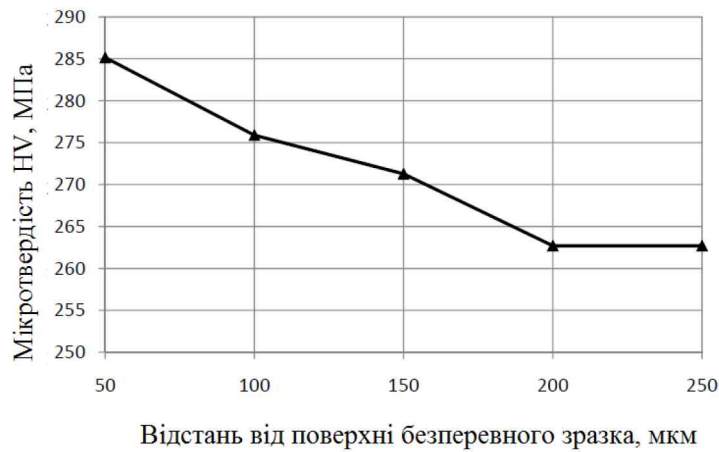


Рисунок 4.3 - Розподіл мікротвердості поверхні твердого зразка сталі 40ХН після ЕДО та нормалізуючої обробки

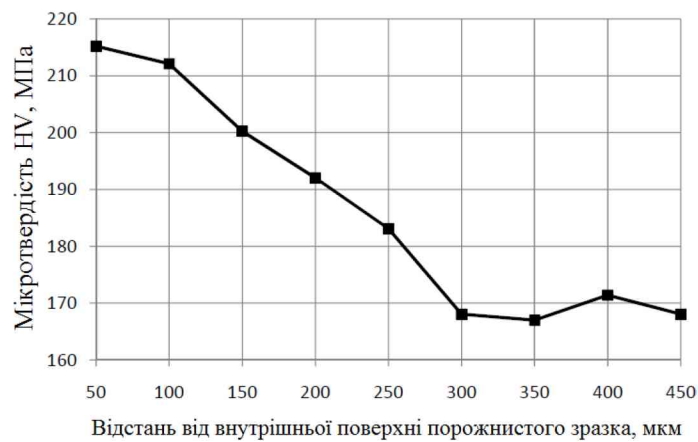


Рисунок 4.4 - Розподіл мікротвердості ЕДО та поверхневого шару пустотилого зразка зі сталі 40Г2 після нормалізації

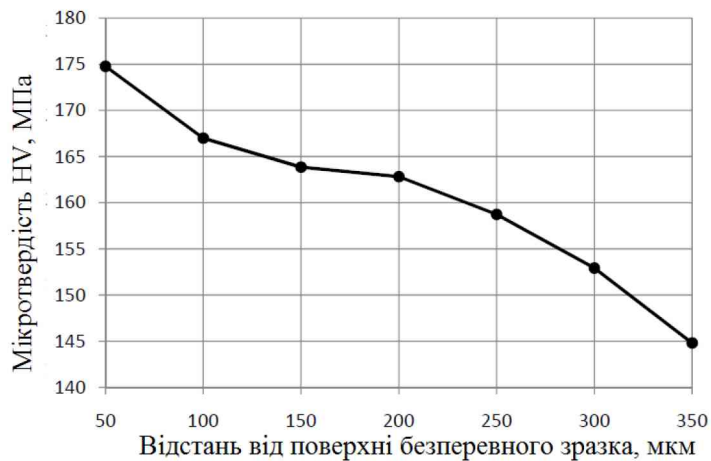


Рисунок 4.5 - Розподіл мікротвердості поверхні суцільних зразків сталі 40Г2 після ЕДО та нормалізації

На графіку показано плавне зниження значень мікротвердості від насиченої поверхні до нижнього шару як для порожнистих, так і для твердих зразків за рахунок ЕДО. Подібні характеристики зміни мікротвердості встановлені на інших

зразках сталі, оброблених електродифузією. Тому менш імовірно, що відшарування відбудеться в зміцненому шарі низьколегованої сталі після ЕДО. Випробування на знос проводилися на деяких зразках, які були оброблені електродифузією та згодом нормалізовані. Перед дослідженням визначте площу контактної поверхні. Результати випробування зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати випробування зразків на зношування при відносній швидкості переміщення 7,9 м/хв

Зразок		Марка сталі	Еталонні зразки		Зразки, піддані		Прилягання, %
			Площа робочої поверхні, см ²				
Тип	Маркування		До випробувань	Після* випробування	До випробувань	Після* випробування	
Колодка	№1	40ХН	1,9623	1,9784	1,9627	19665	92
	№2		1,9622	1,9785	1,9706	1,9748	
	№3		1,9624	1,9783	1,9624	1,9675	
	№4		1,9622	1,9783	1,9615	1,9667	
	№5		1,9625	1,9782	1,9624	1,9668	
Колодка	№1	40ХР	1,9622	1,9814	1,9624	1,9664	
	№2		1,9624	1,9803	1,9625	1,9675	
	№3		1,9622	1,9814	1,9626	1,9676	
	№4		1,9623	1,9803	1,9617	1,9667	
	№5		1,9621	1,9802	1,9627	1,9677	
Колодка	№1	40ХГ	1,9623	1,9772	1,9627	1,9667	
	№2		1,9621	1,9784	1,9627	1,9664	
	№3		1,9623	1,9774	1,9625	1,9664	
	№4		1,9621	1,9775	1,9627	1,9665	
	№5		1,9623	1,9786	1,9627	1,9664	
Колодка	№1	40ХС	1,9622	1,9817	1,9627	1,9665	
	№2		1,4432	1,9818	1,9626	1,9676	
	№3		1,9624	1,9819	1,9628	1,9677	
	№4		1,9625	1,9817	1,9627	1,9677	
	№5		1,9623	1,9817	1,9628	1,9677	

* Дані отримані при відносній швидкості руху 7,9 м/хв

За даними таблиці 4.4 побудували діаграми порівняння величини зношування оброблених та еталонних зразків (рисунок 4.6).

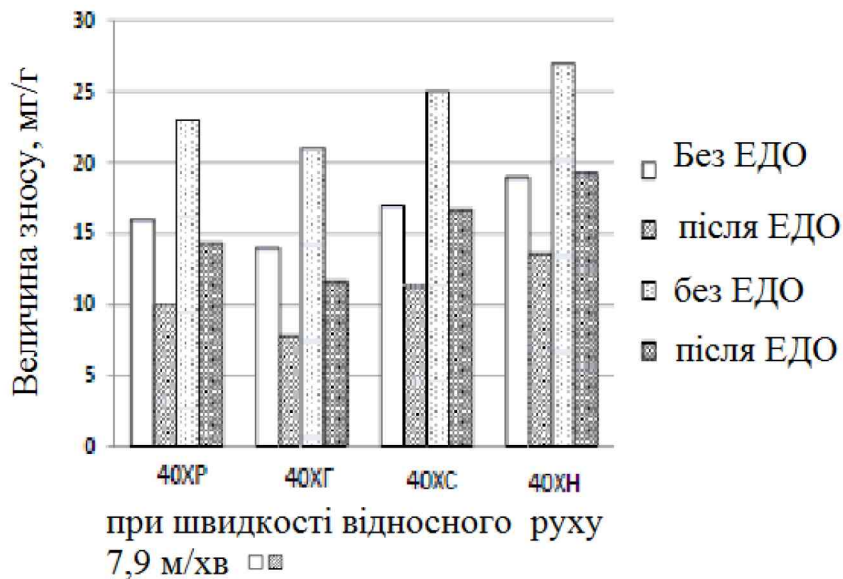


Рисунок 4.6 - Діаграма ступеня зносу експериментального зразка

Аналізуючи наведені дані досліджень зміцнених зразків, можна побачити, що для різних марок сталі ступінь зносу зразків, оброблених ЕДО, менша в 1,4-1,8 рази. За зміною відносної швидкості руху частини «диска» вздовж її зростання показано, що величина масового зносу також збільшується, але при цьому величина зносостійкості залишається практично постійною.

4.2. Аналіз параметрів електродифузійної обробки за характеристиками зміцнюючого шару

Схема отримання заданих властивостей робочої поверхні деталі після електродифузійної обробки наведена на рисунку 4.7. Вхідними параметрами є: H - геометричні розміри деталі; P - площа поверхні деталі; Seq - хімічний склад матеріалу деталі; N - робоча поверхня деталі (зовнішня або внутрішня). Основними факторами впливу є: T —температура ЕДО; тривалість t -ЕДО; S —відношення площ анода та катода; L —відстань між катодом і анодом; j —густина струму; E —тип електроліту; Z —подальша термічна обробка (нормалізація або загартування).



Рисунок 4.7 - Рішення для отримання заданої продуктивності робочої поверхні деталі після ЕДО

Вихідними властивостями є: - відношення середнього значення мікротвердості насиченої поверхні до підстилаючого шару, T_{zmitz} - товщина шару армування. При дослідженні ЕДО встановлені оптимальні параметри для контролю ефектів [40]: температура ЕДО 815-850°C, тривалість ЕДО 2,0 год, електроліт - тетраборат натрію. Щоб виключити вплив подальшої термічної обробки на початкові властивості, усі зразки стандартизували після ЕДО.

Отримані експериментальні дані проаналізовано для встановлення статистичних показників, які залежать від співвідношення площі поверхні обробки зразка до площі допоміжного електрода, зануреного в електроліт, та відстані між електродами. Зв'язок між оброблюваною деталлю і допоміжним електродом, глибиною армуючого шару і щільністю струму в процесі ЕДО. Його коефіцієнт кореляції також оцінювався двічі Дії в процесі ЕДО, результати яких наведені в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Матриця попарних коефіцієнтів кореляції порожнистого зразка ЕДО

-	K	j	S	L	$T_{упр}$
K	1	-0,3228	0,9623*	0,9626*	-0,8496*
j	-0,3228	1	-0,4041	-0,3152	0,2715
S	0,9623*	-0,4041	1	0,9868*	-0,7857
L	0,9626*	-0,3152	0,9868*	1	-0,816
$T_{упр}$	-0,8496*	0,2715	-0,7857	-0,816	1

*статистично значимі

За результатами кореляційного аналізу можна визначити, що в межах розглянутого інтервалу найбільше мають такі параметри [41], як співвідношення площ анода і катода (рис. 4.8) і відстань між анодом і катодом (рис. 4.9). вплив. Ефект підвищує мікротвердість армованого шару порожнистих деталей [41] і, меншою мірою, підвищує мікротвердість армованого шару (рисунок 4.10). Перші дві виявлені залежності є прямими сильними залежностями з приблизним значенням надійності 0,926, а в останньому випадку існує зворотний зв'язок. Вплив густини струму на збільшення мікротвердості має зворотну слабку залежність.



Рисунок 4.8. – Залежність підвищеної мікротвердості армуючого шару порожнистої частини від співвідношення площ анода та катода за нормалізованим ЕДО

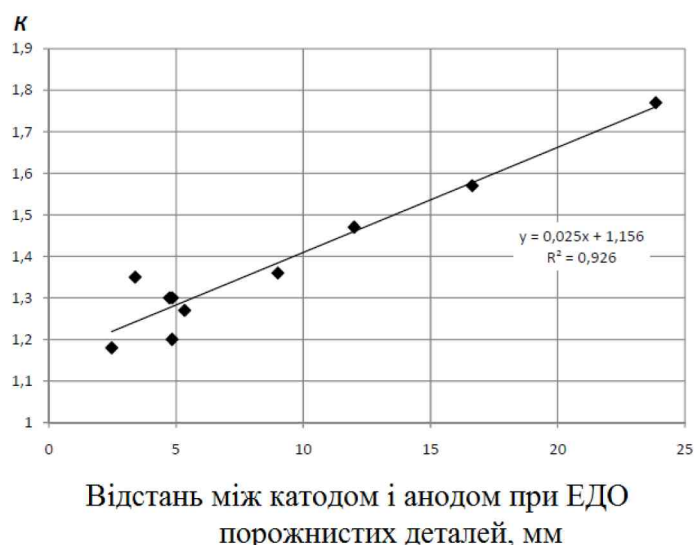


Рисунок 4.9 - Залежність приросту мікротвердості армуючого шару

порожнистої частини від відстані між катодом і анодом за нормованим ЕДО

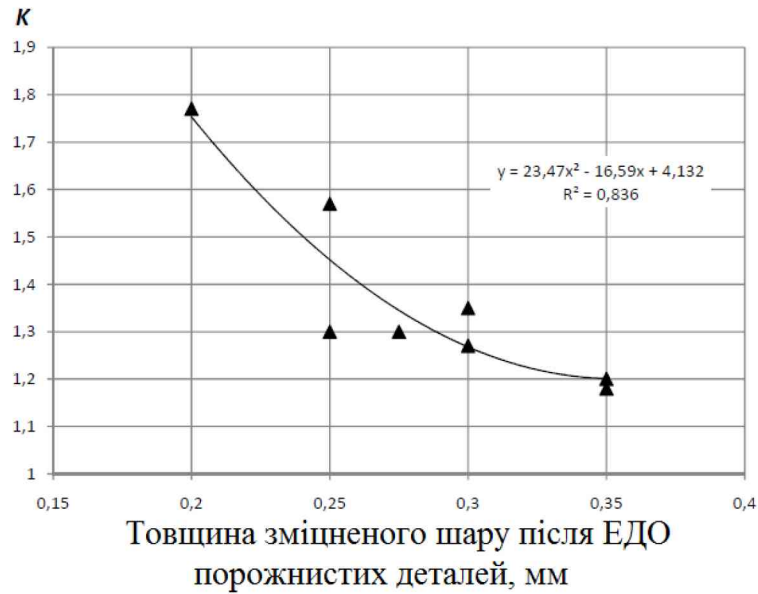


Рисунок 4.10 - Зв'язок між збільшенням мікротвердості зміцненого шару порожнистих деталей і товщиною зміцненого шару після нормалізації ЕДО

На малюнку 4.11 показано відносну силу впливу кожного фактора та їхню взаємодію в процесі ЕДО стандартизованого порожнистого зразка, показуючи статистично значущі приватні коефіцієнти кореляції.

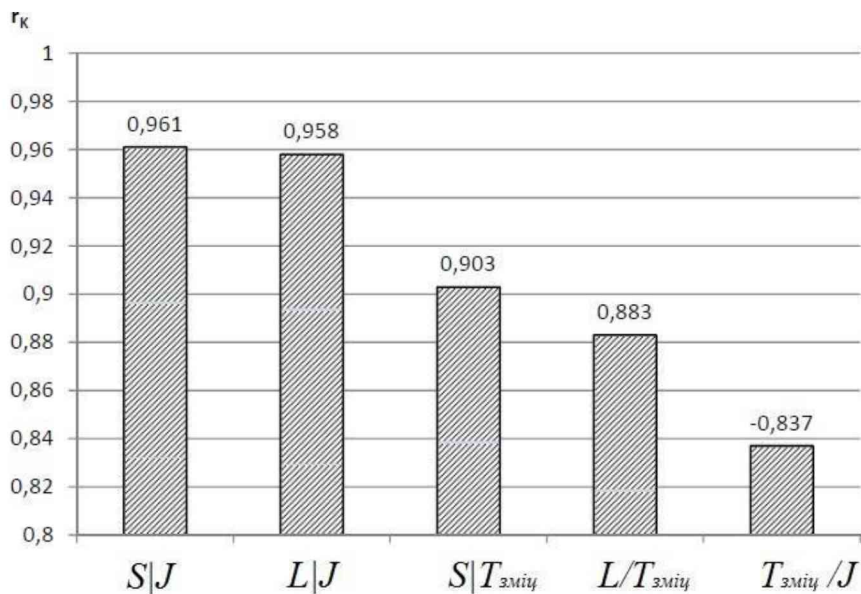


Рисунок 4.11 - Відносний вплив різних факторів та їх взаємодія на стандартизований порожнистий зразок ЕДО

З аналізу рисунка 4.11 видно, що відношення площі анода і катода до щільності струму, відношення відстані між катодом і анодом до щільності струму,

відношення площі до щільності струму, товщина анода і катода до армуючого шару визначається катодом і анодом до товщини армуючого шару. Між товщиною зміцненого шару і щільністю струму існує негативний коефіцієнт кореляції.

Висновки до розділу 4

1. Експериментальне дослідження електродифузійної обробки та нормалізуючої обробки низьколегованої сталі. Мікротвердість насиченої поверхні зразків збільшилася. 1,18 - 3,08 рази для суцільного профілю та порожнистих сталевих зразків на глибині 200 - 350 мікрон. Зносостійкість зразків сталі 40ХН, 40ХР, 40ХГ, 40ХС після ЕДО підвищилася в 1,4-1,8 рази.

2. Визначено максимальний вплив хрому на підвищення мікротвердості зміцненого шару досліджуваних низьколегованих сталей шляхом електродифузійної обробки.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ЗМІЦНЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРА ЕДО

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дозволили розробити та запропонувати процес посиленого ремонту внутрішньої поверхні гільзи циліндра ЕДО (на прикладі відремонтованої гільзи циліндра 4919951 двигуна Cummins QSB 6.7) (рисунок 5.1).

Розроблена технологія є універсальною і дозволяє посилити внутрішню поверхню порожнистих деталей будь-якої конфігурації. Ця технологія може бути реалізована в фіксованих умовах на підприємствах, що спеціалізуються на ремонті обладнання.



Рисунок 5.1 - Конструктивна схема процесу посиленого ремонту ЕДО внутрішньої поверхні гільзи циліндра

Для ремонту зношеної внутрішньої поверхні гільзи циліндра використовується метод електродифузії для посилення ремонтного розміру. При відправці гільзи в ремонт видаляють мастило і продукти зносу мийним розчином Лабомід-203 (концентрація 30 г/л) в пральній машині при 50...80°C. Потім деталі сушать. На

стадії дефекту внутрішні умови вимірюються за допомогою внутрішніх датчиків. Діаметр гільзи в 4 точках на відстані 90° одна від одної в кінці ходу поршня. Також визначте наявність інших можливих дефектів: ризиків, задирок, тріщин, відколів і т.д. Справні деталі відправляють на ремонт і посилення, а непридатні – на склади металобрухту. Потім просвердліть внутрішній діаметр гільзи до 107,45 мм. Після цього почніть з круглої пробки діаметром 115 мм (рис. 5.2). Відріжте циліндричну частину, яка буде служити верхньою допоміжною порожнистою частиною. Відповідно до ЕДО, отримані елементи (заглушки та кільця) можна використовувати багаторазово.

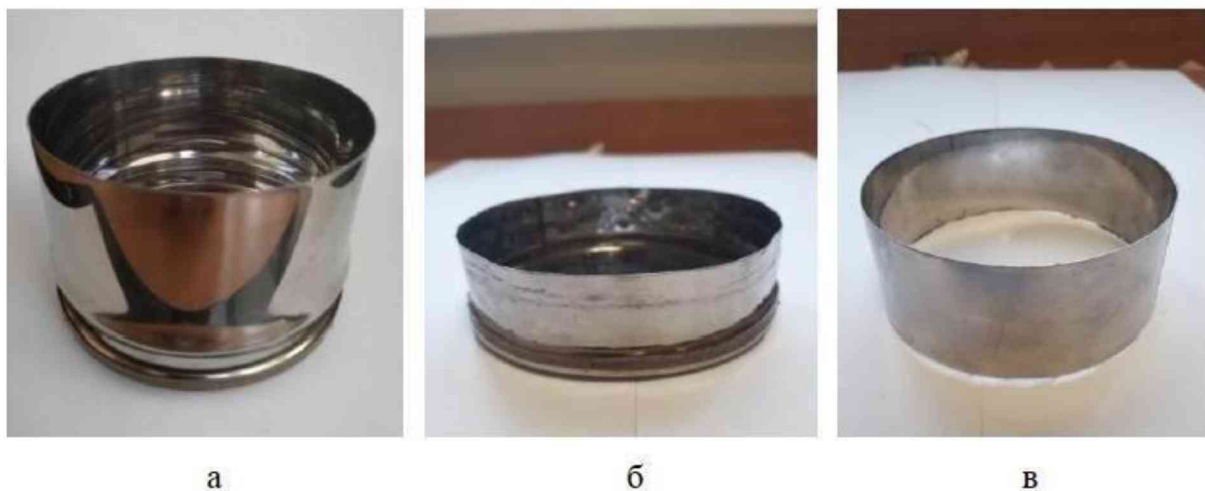


Рисунок 5.2 - Підготовка штекера ЕДО: штекер а - виходу, штекер б -ЕДО, кільце - с.

Збірка робочого електрода полягає в установці в нижній частині пробки і її кріпленні, що забезпечує герметичність з'єднання, за допомогою високотемпературної шпаклівки (рис. 5.3, а), з'єднання між гільзами (рис. 5.3, а) 5.3, б), а верхні допоміжні ажурні деталі (рис. 5.3, в).

Потім струмовиводи приєднують до вводу за допомогою двох затискачів (рис. 5.3, г). Електроліт готують шляхом додавання порошку тетраборату натрію 10 води в печі опору в діапазоні температур від 800 до 850°C . Потім з отриманого розплаву видаляють кристалогідрати обробкою струмом щільністю $1,0-1,5$ А/см 2 протягом 2-3 годин, насичуючи їх оксидом заліза.

Отриманий таким чином електроліт можна використовувати повторно, і ця

операція в майбутньому не знадобиться. Багаторазовий електроліт слід замінювати кожні 30 разів, коли виконується ЕДО.

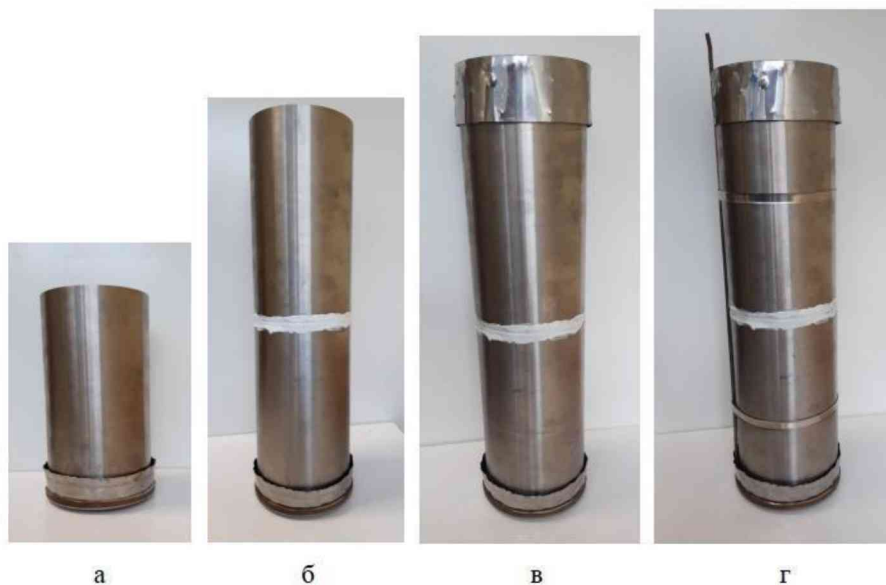


Рисунок 5.3 - Етапи складання робочого електрода циліндричної гільзи ЕДО: а - установка вилки, б - підключення гільзи, в - установка верхньої допоміжної порожнистої деталі, г - підключення джерела живлення та гільзи

Потім заливають електроліт в робочий електрод на 2-3 мм вище верхнього торця гільзи (рисунок 5.4) і встановлюють його в шахтну електропіч.

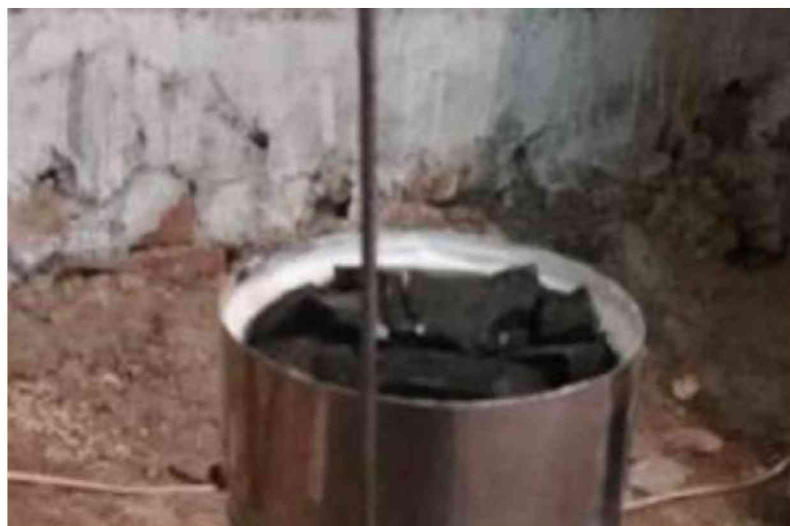


Рисунок 5.4 - Завантаження електроліту всередині робочого електрода канюлі ЕДО

Основною операцією розглянутого процесу є електродифузійне зміцнення

72внутрішньої поверхні гільзи. Розроблена установка рукавної електродифузійної обробки містить шахтну електропеч і блок живлення постійного струму (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 - Вхідна установка ЕДО: 1 - Електрична шахтна піч СШОЛ-35/11, 2 - Блок живлення постійного струму СУНККОПС-152

Установка електродифузійної обробки гільзи має такі параметри:

Максимальний діаметр обробної гільзи, мм	300
Максимальна висота обробки гільзи, мм	500
Тривалість електродифузійного посилення, год	3
Потужність електропечі, кВт	5
Робоча напруга електропечі	220
Маса електропечі, кг	77
Робоча напруга блоку живлення	110-220
Блок живлення, Вт	35
Маса блоку живлення, кг	1,7

У розробленій установці ЕДО можна армувати одночасно до 8 ремонтних гільз циліндрів двигуна внутрішнього згоряння Cummins 6.7 Після досягнення температури 825°C електроліт занурюють в катод і подають струм густиною 0,001

- 0,002 А/см² для здійснення процесу обробки. Контроль характеристик струму в процесі ЕДО здійснюється за допомогою цифрового амперметра (1) і вольтметра (2), які входять до блоку живлення (рис. 5.6). Зміна сили струму і його густини здійснюється за допомогою грубого (3) і тонкого (4) регуляторів.



Рисунок 5.6 - Пристрій живлення постійного струму SUNKKO PS-152 і пристрій для гільзи ЕДО: 1-амперметр, 2-вольтметр, 3-токовий грубий регулятор, 4-токовий точний регулятор

Контроль температури ЕДО за допомогою цифрового приладу Терморегулятор на шахтну пічну панель. Через 2 години електродифузійного зміцнення вимкнути струм, вийняти робочий електрод з печі тигельними кліщами, злити електроліт і загартувати гільзу. Потім розберіть робочий електрод: вийміть струмовід з гільзи, відокремте верхню допоміжну порожнисту частину від вилки і від'єднайте гільзу.

На наступному етапі гільза очищається від високотемпературної шпаклівки, деталь проварюється для видалення з поверхні залишків електроліту і охолоджується на повітрі. Після цього внутрішню поверхню гільзи хонінгують до діаметра не менше 107,49 і не більше 107,50 мм. Промийте рукава концентрованим розчином прального порошку в гарячій воді та висушіть рукава стисненим повітрям. Початковий контроль включає вимірювання твердості та шорсткості внутрішньої поверхні гільзи та контроль внутрішнього діаметра гільзи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено експериментальні дослідження низьколегованої сталі ЕДО. Показано підвищення мікротвердості зміцнених поверхонь суцільних і порожнистих сталевих зразків у 1,18-3,08 разів до глибини 200-350 мкм. Завдяки ЕДО концентрація хрому на зміцненій поверхні збільшується відносно об'єму в 16-24 рази, нікелю в 11-25 разів, кремнію в 12-42 рази.

2. Розроблено метод ЕДО для порожнистих сталевих деталей, який покращує механічні властивості внутрішньої робочої поверхні та виключає використання високотемпературних тиглів.

3. Розроблено розширений процес ремонту ЕДО для внутрішньої поверхні ремонтної гільзи циліндра двигуна Cummins QSB 4919951 РСМ-101 комбайну зернозбирального "Вектор 420".