

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САРЖАНОВ БОГДАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.867.42:621.9.048.4

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ
ШНЕКІВ МАШИН ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ**

133 «Галузеве машинобудування»
13 – Механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Б.О. Саржанов

Науковий керівник

Тарельник В'ячеслав Борисович,

доктор технічних наук, професор

СУМИ - 2021

АНОТАЦІЯ

Саржанов Б.О. Розробка екологічно безпечних методів відновлення шнеків машин технологічного циклу утилізації гною. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми в області галузевого машинобудування: розробка інноваційних, короткотривалих та екологічно безпечних технологій поверхневого зміцнення та ремонту шнеків машин технологічного циклу утилізації гною, а також центрифуг, призначених для очищення побутових та виробничих стічних вод. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечити підвищення надійності машин за рахунок збільшення терміну служби їх робочих органів, при зниженні енерговитрат, що дуже важливо для сучасної України.

Об'єкт дослідження – технологічний процес формування функціональних покриттів на поверхні елементів шнеків машин технологічного циклу утилізації гною та центрифуг для очищення стічних вод.

Предмет дослідження – закономірності технологічного процесу формоутворення поверхні із заданими експлуатаційними властивостями, що забезпечують необхідну якість (довговічність, екологічну безпеку, зносостійкість, працездатність) шнеків машин технологічного циклу утилізації гною та центрифуг для очищення стічних вод.

Метою роботи є удосконалення технології виготовлення і ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, призначених для очищення побутових та виробничих стічних вод, шляхом формування на

їх поверхнях, що зношуються, захисних покриттів, сформованих за рахунок використання екологічно та техногенно безпечних технологій: ЕІЛ, нанесення МПМ, ППД та ін.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Вибрати екологічно й техногенно безпечні технології виготовлення й ремонту витків і посадкових місць під підшипники кочення шнека.

2. Провести дослідження, спрямовані на збільшення товщини шару, сформованого методом ЕІЛ на установках з ручним вібратором.

3. Провести дослідження, спрямовані на створення товстошарових покриттів на плоских і криволінійних поверхнях сформованих механізованими установками ЕІЛ, товщина яких порівняна з покриттями, формованими на поверхнях деталей тіл обертання.

4. Удосконалити екологічно й техногенно безпечну комбіновану технологію відновлення зношених посадкових поверхонь деталей ЕІЛ + МПМ шляхом армування МПМ і таким чином, підвищення його твердості й міцності.

5. Створити екологічно й техногенно безпечний спосіб прикріплення сегментів на зношені ділянки гвинтових поверхонь шнека.

6. Розробити екологічно й техногенно безпечний спосіб збільшення товщини зміцненого шару при ЕІЛ, за рахунок нанесення КЕП, сформованих методом ЦЕІЛ і легуванням за допомогою електродів-інструментів з м'яких антифрикційних і твердих зносостійких металів.

7. Провести дослідження зразків виготовлених з матеріалу, який використовують для виготовлення шнеків, з різними захисними покриттями на гідро абразивний знос.

8. Розробити технологічні рекомендації екологічно й техногенно безпечного виготовлення й ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ і впровадити результати досліджень у виробництво.

У вступі обґрунтований вибір теми дисертації та наукових завдань, сформульовані мета й завдання дослідження, визначені наукова новизна й практичне значення одержаних результатів, а також наведена інформація про апробацію, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі на підставі аналізу будови машин задіяних в технологічному циклу видалення та утилізації гною встановлено, що основним робочим органом, який визначає час їх роботи, є шнек. Показано, що шнеки працюють в важких умовах абразивного, корозійного та інших видів зносу, а методи їх виготовлення і ремонту є екологічно небезпечними. Все це дозволило сформулювати мету й завдання дисертації.

У другому розділі розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної технології реновації відповідальних деталей технологічного обладнання, задіяного в процесі очистки стоків, яке працює з постійним навантаженням у важких умовах гідроабразивного зносу. На підставі теоретичних досліджень розроблена формалізована методика визначення оптимального варіанта технології ремонту шнека. При цьому кожен варіант реалізується можливими комбінаціями рішень мінімізованими з економічних і екологічних показників. Досліджено рівняння вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів лопатей шнека і запропонований алгоритм для визначення їх констант (максимального вагового зносу Δm_n , максимального лінійного зносу Δh_n і енергії активації процесу зносу E_A). Запропоновано методику визначення часу повного зносу зміцненого шару або нанесеного покриття на периферійних ділянках лопатей шнека і зупинки обладнання для проведення ремонтних робіт.

Третій розділ присвячений методиці експериментальних досліджень впливу різних технологій на якість поверхонь елементів шнеків, задіяних в переробці і утилізації гною та центрифуг з очищення стічних вод. Були розглянуті особливості технології ЕІЛ при обробці поверхонь елементів шнеку. Запропоновано ряд методик, направлених на покращення показників якості та властивостей покриттів, отриманих шляхом удосконалення технології формування відновлених шарів методом ЕІЛ, нанесення комбінованих

електроіскрових покриттів (КЕІП), цементації методом ЕІЛ, комбінованих технологій (КТ) сполучення ЕІЛ з нанесенням металополімерних матеріалів (МПМ), лазерною обробкою (ЛО), поверхневим пластичним деформуванням (ППД) та пластичним деформуванням (ПД). Зносостійкість запропонованих захисних покриттів, від гідроабразивного зносу, сформованих вище описаними методами, досліджували на спеціально виготовленій установці по втраті ваги та зменшені товщини зразка, а відносну зносостійкість зразків для відновлення і зміцнення посадкових поверхонь шнека під підшипники кочення, випробували на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск - плоский зразок».

В четвертому розділі в результаті проведених досліджень розроблена гама технологічних методів, використання яких при виготовленні і ремонті шнеків машин, забезпечить підвищення їх надійності та довговічності: удосконалена технологія відновлення і зміцнення методом ЕІЛ сталених поверхонь деталей, яка відрізняється послідовністю нанесених шарів зносостійкого металу та режимами легування. В результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні при досягненні найбільшої суцільності і товщини сформованого покриття; запропонована нова КТ відновлення деталей, що включає екологічно безпечні технології ЕІЛ і МПМ, яка полягає в тому, що нанесений на оброблену методом ЕІЛ поверхню, наносять шар МПМ, який армують дротом, що пройшов термообробку. Після полімеризації та фінішній обробки механічним методом формується поверхневий шар, якість, зносостійкість, надійність і довговічність якого вище, ніж при використанні методу МПМ без армування; розроблений новий спосіб одночасного відновлення, і зміцнення деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, шляхом нанесення КЕІП, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛ Т15К6 у якого зона підвищеної твердості досягає 360 мкм, шорсткість поверхні $R_a = 7,5$ мкм, мікротвердість поверхневого шару становить 11500 МПа; розроблена екологічно безпечна КТ формування зносостійких покриттів, що включає послідовне ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при, нанесення МПМ і ЛО, що дозволила збільшити товщину покриття до

600 мкм з мікротвердістю 7,3 - 10,0 ГПа і суцільністю 100%; запропоновано нову КТ відновлення і одночасного зміцнення поверхонь деталей типу тіл обертання, яка дозволяє формувати на сталевих поверхнях КЕП, сформовані в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ, товщиною до 1,5 мм, суцільністю 100%, мікротвердістю 10100-9500 МПа і шорсткістю $R_a = 1,2$ мкм; розроблено нову КТ формування зносостійких покриттів на плоских і криволінійних поверхнях деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, сформованих в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ → ПД, товщина яких становить $\sim 1,3$ мм, мікротвердість до 11000 МПа, суцільність 100% і шорсткість, $R_a \sim 1,0$ мкм.

В п'ятому розділі розроблені технологічні рекомендації по впровадженню результатів проведених досліджень у виробництво. Для практичного застосування запропонована екологічно безпечна технологія відновлення і одночасного зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі, яка включає видалення зношеної частини і заміну її окремим сегментом з попередньо виконаним пазом або виточкою, який з'єднується з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕІЛ. Також запропонована екологічно безпечна технологія зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕІЛ, застосування якої супроводжується: значним (на порядок) зниженням витрат електроенергії і часу на термообробку; відсутністю поводок і короблення, а отже і необхідності додаткової механічної обробки для їх усунення після термообробки. Розроблено гаму технологічних процесів екологічно безпечного відновлення посадкових місць шнеків під підшипники кочення, що дозволяє в залежності від величини зносу, застосовувати різні технології: до 0,22 мм - ЕІЛТ15К6 → МПМ; до 0,25 мм - ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований твердим сплавом ВК6; до 0,35 мм - ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → МПМ; до 1,5 мм - ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований дротом.

В результаті досліджень зразків сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями на гідроабразивний знос встановлено, що зносостійкість КЕП, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛАІ → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ,

армований ВК6 → ПД, відповідно, на 820%; 550%; 160%; 120%; і 110% більше зразків без покриття; ЕІЛТ15К6; ЕІЛТ15К6 → МПМ; наплавлення стеліту; ЕІЛТ15К6 → МПМ → ЛО. Стійкість проти гідроабразивного зносу у зразків сталі 65Г вище, ніж у зразків зі сталі 30Х13 і 40Х, при загартуванні в маслі, відповідно на 33% і 31%; а при загартуванні на повітрі, відповідно на 13% і 33%. В результаті досліджень відносної зносостійкості покриттів зразків зі сталі 12Х18Н10Т, застосовуваних для відновлення посадочних поверхонь шнеків встановлено, що знос зразків зі сталі 12Х18Н10Т без покриття, відповідно, на 630%; 470%; 260% і 250% вище, ніж у зразків з покриттями, сформованими в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → МПМ; ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований твердим сплавом ВК6; ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований дртою ЕІЛТ15К6 → МПМ.

Дослідження впливу зварювальних робіт на зміни в складі повітря показали, що при наплавленні на сталь 12Х18Н10Т зносостійкого покриття електродом марки ОК61.30 \varnothing 2,5 мм з'являється значно більша кількість вуглекислого газу CO_2 і утворюються нестабільні іони NO, тобто виникають гази, які є отруйними навіть в малих концентраціях. Слідів озону O_3 за допомогою мас-спектрометра не виявлено. При дослідженні хімічного складу газового середовища в зоні проведення робіт при ЕІЛ сталі 12Х18Н10Т на установці «Елітрон -52А» електродом-інструментом з твердого сплаву Т15К6 з енергією розряду 3,4 Дж встановлено, що мас-спектр газового середовища практично ідентичний мас-спектру чистого повітря. Незначні відмінності спостерігаються тільки в кількості водяної пари, що пов'язано, швидше за все, з різною вологістю повітря.

Відповідно до поставленої мети та задач у роботі отримані наступні **результати**:

1. Розроблено систему спрямованого вибору найбільш ефективної технології захисту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней та великої рогатої худоби і центрифуг з очищення стічних

вод, які працюють з постійним навантаженням у важких умовах гідроабразивного зносу, та негативного оточуючого середовища.

2. Запропоновано нову технологію відновлення й зміцнення зношених поверхонь деталей екологічно безпечним методом ЕІЛ, що забезпечує найбільшу товщину й суцільність покриття при мінімальному збільшенні шорсткості сформованої поверхні (патент UA на корисну модель №138052).

3. Удосконалено комбіновану технологію відновлення посадкових поверхонь деталей, що включає екологічно безпечні методи ЕІЛ і нанесення МПМ, що забезпечує шляхом армування останніх, підвищення твердості й міцності нанесеного покриття (патент UA на винахід № 117980).

4. Розроблена нова технологія одночасного відновлення і зміцнення шнеків з нержавіючої сталі 12X18H10T, шляхом нанесення КЕІП, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛА1→ЕІЛТ15К6 у якого зона підвищеної твердості досягає 360 мкм, шорсткість поверхні $R_a = 7,5$ мкм, мікротвердість поверхневого шару становить 11500 МПа (патент UA на винахід №136895).

5. Розроблена екологічно безпечна технологія зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕІЛ, застосування якої супроводжується: значним (на порядок) зниженням витрат електроенергії й часу на термообробку; відсутністю повідець і жолоблень, а отже й необхідності додаткової механічної обробки для їхнього усунення після термообробки (патент UA на корисну модель № 141992).

6. Розроблено нову комбіновану технологію формування на круглих, плоских і криволінійних поверхнях шнека зносостійких товстошарових покриттів, сформованих екологічно безпечними методами в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛА1→ЕІЛТ15К6→ППД→нанесення МПМ, армованого ВК6→ПД, товщина яких становить $\sim 1,3-1,5$ мм, мікротвердість до 11,0 ГПа, суцільність 100% і шорсткість, $R_a \sim 1,0$ мкм (патенти UA на корисну модель № 141919, 141920, 142338).

7. Запропоновано замінити екологічно шкідливу технологію приварювання сегментів зі зносостійкими покриттями на зношені ділянки

лопатеї шнеків на екологічно безпечну, яка полягає в прикріпленні механічним способом ((патенти UA на корисну модель № 140467 і 140468).

8. Розроблені і впроваджені в виробництво технологічні рекомендації виготовлення і ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною та центрифуг для очищення стічних вод, екологічно безпечними методами з очікуваним економічним ефектом 197 тис. грн.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше встановлено функціональний взаємозв'язок між закономірностями технологічного процесу формоутворення поверхні деталі з заданими експлуатаційними властивостями і інтегральними показниками економічної ефективності та екологічної безпеки, яка дозволила кількісно оцінити вплив кожної складової технологічного процесу ремонту на екологічну безпеку виробництва в цілому.

2. Вперше експериментальними дослідженнями встановлено кореляційний зв'язок між ваговим і лінійним зносом сталевих зразків з електроіскровими покриттями та величиною енергії, витраченої на тертя, який в першому наближенні нагадує експоненціально зростаючу залежність. Отримано рівняння вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів лопатеї шнека і запропонований алгоритм для визначення їх констант (максимального вагового зносу Δm_n , максимального лінійного зносу Δh_n і енергії активації процесу зносу E_A).

3. Вперше розроблено математичну модель синтезу варіанта технологічного рішення, яка використовуючи функцію бажаності Харрінгтона дозволяє здійснити спрямований вибір технології ремонту з урахуванням показників екологічної безпеки процесу.

4. Вперше запропонований екологічно і техногенно безпечний метод відновлення та зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі, суть якого полягає в видаленні частини деталі і заміни її окремим сегментом з попередньо виконаним пазом або виточкою, який з'єднують з відновлюваною

деталлю нероз'ємним з'єднанням, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕІЛ.

5. Одержала подальший розвиток послідовність електроерозійного легування при відновленні деталей, особливість якої полягає у тім, що спочатку наносять шар, використовуючи режими, що забезпечують найбільшу суцільність і товщину покриття, потім легують, тим же електродом, по режимах, коли шорсткість поверхні приблизно в 2–4 рази вище, ніж на попередньому етапі. У результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні при досягненні найбільшої суцільності й товщини сформованого покриття.

6. Вперше доведена визначна роль технології ЕІЛ з точки зору екологічної безпеки, при використанні її для зміцнення та відновлення деталей в порівнянні з технологіями, які пов'язані з зварюванням та наплавленням металевих поверхонь.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці технологічних рекомендацій по виготовленню та ремонту елементів шнеків машин, адаптованих до умов роботи в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, працюючих на очисних спорудах та призначених для очищення побутових та виробничих стічних вод.

Ключові слова: центрифуга, транспортер, шнек, технологічний цикл, абразив, знос, зносостійкість, функціональні покриття, спрямований вибір, електроіскрове легування, металополімерні матеріали, поверхневе пластичне деформування.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Саржанов О.А., **Саржанов Б.О.** Аналіз методів ремонту відповідальних деталей центрифуг для стічних вод // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2016. Вип. 10(3). С. 58-62.

Здобувачем представлені результати порівняльних випробувань на зносостійкість зразків з різним покриттям.

2. Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В., Саржанов А.А., Павлов О.Г., Волошко Т.П., **Саржанов Б.О.** Восстановления поверхности стальных и чугунных деталей применением комбинированной технологии электроэрозионного легирования и армированных металлополимерных покрытий // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". 2017. Вип. 10 (32). С. 3-11.

Здобувачем запропоновано нові технологічні рішення, які включають нанесення на сформовану методом ЕІЛ поверхню шару металлополімерного матеріалу, який перед полімеризацією армують шаром дроту.

3. Тарельник В.Б., Саржанов О.А., Соларьов О.О., **Саржанов Б.О.** Екологічно безпечна технологія збільшення експлуатаційного періоду зернової дробарки // Компресорне і енергетичне машинобудування. 2018. Вип. 4(54). С. 23-28.

Здобувачем отримано залежності величини зносу молотків від часу роботи дробарки та матеріалу легування.

4. Тарельник В.Б., **Саржанов Б.А.** Экологически безопасный способ восстановления и одновременного упрочнения стальных деталей, изготовленных из металлических листов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія «Технології в машинобудуванні». 2019. № 19 (1344). С. 16-21.

Здобувачем запропоновано екологічно безпечний спосіб відновлення зношених поверхонь листових деталей зі сталі 65Г на прикладі дискових борін ґрунтообробних машин

5. **Саржанов Б.О.** Новий спосіб підвищення якості покриттів при відновленні деталей методом електроерозійного легування // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2019. Вип. 68. С. 96-102.

Здобувачем отримані параметри якості покриттів із твердого сплаву Т15К6 сформованих методом електроіскрового легування на сталі 12Х18Н10Т.

6. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., **Саржанов Б.О.** Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування графітовим електродом // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Серія «Технологія захисту довкілля». 2019. Вип. 19(2). С. 118-126.

Здобувачем отримані технологічні параметри зміцнення зразків із сталевих листів зі сталей 65Г, 40Х та 30Х13 після цементації методом ЕІЛ

7. Тарельник В.Б., **Саржанов Б.О.**, Гапон О.О. Новий спосіб відновлення і зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються в процесі експлуатації абразивному зносу // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2019. Вип. 1-2 (35-36). С. 18-24.

Здобувачем здійснений мікроструктурний аналіз сталі 12X18H10T після ЕІЛ твердим сплавом та досліджено розподіл мікротвердості покриттів у міру поглиблення від поверхні.

8. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Лобода В.Б., Коноплянченко Е.В., Марцинковский В.С., Семирненко Ю.И., Тарельник Н.В., Микулина М.А., **Саржанов Б.А.** Повышение экологической безопасности формирования износостойких покрытий на поверхностях деталей типа тел вращения из стали 12X18H10T с применением комбинированной технологии на основе электроискрового легирования // Электронная обработка материалов, 2020. Том 56 (5). С. 115-127.

Здобувачем здійснено порівняльний аналіз впливу на екологічні показники процесу відновлення із застосуванням електроіскрових технологій в порівнянні із зварювальними роботами.

9. Tarelnyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., Gerasimenko V., **Sarzhanov B.** Improvement of integrated technology for restoring surfaces of steel and iron parts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. –Vol. 233. doi:10.1088/1757-899X/233/1/012050

Здобувачем отримані залежності параметрів якості покриттів із олов'янистої бронзи, формованих методом електроіскрового легування на та сталі 20 від енергії розряду.

10. Martsynkovskyy V., Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Antoszewski B., Kundera C., Dyadyura K., Tarelnyk N., **Sarzhanov B.**, Mikulina M., Gapon O., Semernya O. New Process for Forming Multicomponent Wear-Resistant Nanostructures by Electrospark Alloying Method. Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings. Springer Proceedings in Physics. 2019. vol 240. p. 135-149 https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_13

Здобувачем досліджено розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 12X18H10T після її цементації методом ЕІЛ та досліджено розподіл мікротвердості після обробки алюмінієм методом ЕІЛ.

11. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., **Sarzhanov B.** Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. Key Engineering Materials. 2020. vol 864, p. 265–277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>

Здобувачем досліджено залежність гідроабразивного вагового зносу від часу випробування при різних комбінаціях багатошарових зносостійких покриттів.

12. Tarelnyk V., Gaponova O., Myslyvchenko O., **Sarzhanov B.** Electrospark Deposition of Multilayer Coatings. Powder Metall Met Ceram. 2020. vol 59, p. 76–88. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00140-x>

Здобувачем здійснено металографічний аналіз складних покриттів С + Al, отриманих методом ЕІЛ. Досліджено їх мікроструктуру та розподіл мікротвердості.

13. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Tarelnyk N., Martsynkovskyy V., **Sarzhanov B.**, Sarzhanov O., Antoszewski B. Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. Powder Metall Met Ceram. 2020. vol 58, p. 703–713. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>

Здобувачем здійснено дослідження мікроструктури та розподіл мікротвердості в покриттях отриманих комбінацією методів ЕІЛ + МПМ + ЛО при різних режимах лазерної обробки.

14. Пат. Україні (на 20 р.) 117980 Україна, МПК В23Н 1/00, В23Н 5/02, В23Н 5/04, В23Р 6/00, С23С 28/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**; № u201703450; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл.№ 20.

Здобувачем запропоновано методика полімеризації шару металополімерного матеріалу, який перед полімеризацією армують шаром дроту.

15. Пат. на корисну модель 118892 Україна, В23Н 5/02, С23С 26/00, С23С 28/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**; №201703446 ; заявл. 10.04.2017 ; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.

Здобувачем запропоновано при відновленні м'якої антифрикційної зношеної плоскої поверхні нанесений шар МПМ перед полімеризацією армувати шляхом розміщення на ньому сітки, виконаної з дроту, виготовленого з м'якого пластичного матеріалу, наприклад міді, олова, бабіту, срібла, олов'яної бронзи.

16. Пат. України (на 20 р.) 121614 Україна, В23Н 5/02, С23С 28/00, В23Р 6/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**, Б. Антошевський; № u201809310 ; заявл. 12.09.2018 ; опубл. 25.06.2020, Бюл.№ 12.

Здобувачем виконано дослідження мікроструктури зразка зі сталі 12Х18Н10Т, який був оброблений на різних режимах електроіскрового легування.

17. Пат. на корисну модель 131805 Україна, В23Н 5/02, В23Р 6/00, С23С 28/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**, Б. Антошевський; № u201809307 ; заявл. 12.09.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл.№ 2.

Здобувачем запропоновано при армуванні металевий порошок з твердого сплаву ВК8 додавати в МПМ порціями 5-7 % від загальної кількості металевого порошку.

18. Пат. на корисну модель 136895 Україна, В23Н 9/00, С23С 8/60, С23С 10/48. Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник,

Б.О. Саржанов, Б. Антошевський; № u201903328 ; заявл. 02.04.2019; опубл. 19.09.2019, Бюл. № 17.

Здобувачем здійснені металографічні дослідження зразків зі сталі марок 12X18H10T, 40X та 30X13.

19. Пат. на корисну модель 138052 Україні, В23Р 6/00, В23Н 1/00, С23С 28/00. Спосіб підвищення якості відновлених покриттів металевих деталей методом електроерозійного легування / **Б.О. Саржанов**; № u201909758 ; заявл. 12.09.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл.№ 21.

20. Пат. на корисну модель 140467 Україна, В23Р 6/00, В23К 9/04, В23Н 5/00, В23Н 5/02. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, А.В. Белоус, О.А. Саржанов , О.О. Гапон, **Б.О. Саржанов**, А.О. Прокопенко; № u201909103 ; заявл.02.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл.№ 4.

Здобувачем запропоновано для вигнутої форми сегмента використовувати технологічне оснащення, що застосовується для виготовлення вигнутої форми відновлюваної деталі.

21. Пат. на корисну модель 140468 Україна, В23Р 6/00, В23К 9/04, В23Н 5/00, В23Н 5/02. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, А.В. Белоус, О.А. Саржанов , О.О. Гапон, **Б.О. Саржанов**, А.О. Прокопенко; № u201909105 ; заявл.02.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл.№ 4.

Здобувачем запропоновано наносити металоолімерний матеріал, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавних суміші, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросіліконом марки Loctite 3478.

22. Пат. на корисну модель 141006 Україна, В23Н 5/00. Спосіб підвищення зносостійкості поверхонь деталей машин способом електроіскрового легування / В.Б. Тарельник, О.А. Саржанов, **Б.О. Саржанов**, О.О. Гапон; № u201904191 ; заявл. 25.03.2020; опубл. 25.03.2020, Бюл.№ 6.

Здобувачем досліджені параметри якості покриттів, сформованих на поверхнях зразків зі сталі 65Г.

23. Пат. на корисну модель 141919 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, В.О. Пирогов, А.Д. Лазаренко, О.О. Гапон; № u201912304; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020, Бюл.№ 8.

Здобувачем запропонована технологія нанесення електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву Т15К6, яка виконується на механізованій установці "ЭИЛ-9", виконуючи два проходи при $W_p=0,9$ Дж і два проходи при $W_p=3,4$ Дж.

24. Пат. на корисну модель 141920 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, В.О. Пирогов, А.Д. Лазаренко, О.О. Гапон; № u201912307 ; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020, Бюл.№ 8.

Здобувачем отримані результати металографічних і дюрOMETричних досліджень, а також отримані параметри шорсткості і суцільності поверхневих шарів на різних етапах нанесення КЕП, сформованих на нержавіючій сталі 12Х18Н10Т із застосуванням установки моделі "Елітрон-52А" з ручним вібратором і механізованої установки "ЕІЛ-9".

25. Пат. на корисну модель 141992 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб екологічного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування сталевих поверхонь графіновим електродом / В.Б. Тарельник, О.А. Саржанов, О.О. Гапон, **Б.О. Саржанов**, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко; № u201909725 ; заявл.10.09.2019; опубл. 12.05.2020, Бюл. № 9.

Здобувачем досліджена мікроструктура і розподіл мікротвердості у міру поглиблення від поверхні зразка сталі 65Г після цементації методом ЕІЛ при охолодженні у різному середовищі.

26. Пат. на корисну модель 142338 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, В.О. Пирогов, А.Д. Лазаренко, О.О. Гапон; № u20200019; заявл. 25.05.2020; опубл. 25.05.2020, Бюл.№ 10.

Здобувачем запропоновано технологію отримання сегментів з криволінійних поверхонь.

27. Патент 2711074 Российская Федерация, В23Н 9/00, С23С 28/00. Способ повышения износостойкости стальных деталей / В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, О.П. Гапонова, Н.В. Тарельник, Е.В. Коноплянченко, А.А. Саржанов, **Б.А. Саржанов**, Б. Антошевский; № 2019111032 ; заявл. 11.04.2019; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.

Здобувачем отримані результати металографічних досліджень зразків зі сталі 12Х18Н10Т.

28. Патент 2718599 Российская Федерация, В23Р 6/00, С21D 1/38. Способ восстановления и одновременного упрочнения деталей из листовой стали, подвергаемых абразивному износу в процессе эксплуатации (варианты) / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, А.В. Белоус, А.А. Саржанов, А.А. Гапонова, **Б.А. Саржанов**; пат. № 2019127222 ; заявл. 27.08.2019; опубл. 08.04.2020, Бюл. №10.

Здобувачем запропоновано на покриття з твердого сплаву Т15К6 наносити металополімерний матеріал, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавних суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну

систему, наповнену ферросіліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини 60%.

29. Патент 2671030 Российская Федерация, В23Р 6/00, В23Н 9/00. Способ восстановления изношенных поверхностей металлических деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, А.Г. Павлов, **Б.А. Саржанов**; № 2017113046 ; заявл. 14.04.2017; опубл. 15.10.2018, Бюл. № 29.

Здобувачем запропонована технологія відновлення плоских та криволінійних поверхонь деталей з твердих зносостійких матеріалів.

30. Патент 2698001 Российская Федерация, В23Р 6/00, В23Н 5/02. Способ восстановления изношенных поверхностей деталей машин из нержавеющей стали / В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, О.П. Гапонова, Н.В. Тарельник, Е.В. Коноплянченко, А.Г. Павлов, **Б.А. Саржанов**, Б. Антошевский; № 2018134067 ; заявл. 26.09.2018; опубл. 21.08.2019, Бюл. № 24.

Здобувачем проведені металографічні дослідження для оцінки якості шару, його суцільності, товщини, та будову дифузійної зони та зони термічного впливу.

31. Тарельник В.Б., Павлов А.Г., **Саржанов Б.А.** Новый метод восстановления поверхности стальных и чугунных деталей (Часть 1) / Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях» (22-26 травня 2017, м. Суми). Суми. 2017. С. 101-106.

Здобувачем отримано результати параметрів якості покриттів з бронзи БрО10Ф1 на поверхні зразку із сталі 20.

32. Тарельник В.Б., Павлов А.Г., **Саржанов Б.А.** Новый метод восстановления поверхности стальных и чугунных деталей (Часть 2) / Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях» (22-26 травня 2017, м. Суми). Суми. 2017. С. 106-110.

Здобувачем запропонована технологія відновлення плоских та криволінійних поверхонь деталей з твердих зносостійких матеріалів.

33. Тарельник В.Б., **Саржанов Б.А.** Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом цементації електроерозійним легуванням графітовим електродом / Матеріали міжнародної наук. конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах» (18-19 грудня 2019, м. Київ). Київ. 2019. С. 52-55.

Здобувачем отримано технологічні параметри зміцнення зразків із сталевих листів методом цементації електроіскровим легуванням.

34. **Саржанов Б.О.** Обґрунтування вибору технології формування захисних покриттів робочих поверхонь шнеків машин, що працюють в агресивних середовищах// Технології ХХІ сторіччя: Збірник тез за матеріалами 25-ої міжнародної науково-практичної конференції (15-20 вересня 2019 р.). Ч.3. – Суми: СНАУ, 2019 – С. 101-107.

ABSTRACT

Sarzhanov B.O. Development of ecologically safe augers restoration methods of manure utilization technological cycle machines. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy in the field of knowledge 13 - Mechanical engineering on a specialty 133 - Industrial machinery engineering. - Sumy National Agrarian University, Sumy, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem in the field of branch mechanical engineering: development of innovative, short - term and ecologically safe technologies of surface strengthening and repair of augers of machines of technological cycle of utilization of manure, and also the centrifuges intended for domestic and industrial sewage treatment. Solving this problem will increase the reliability of machines by increasing the service life of their working bodies, while reducing energy consumption, which is very important for modern Ukraine.

Object of study - technological process of formation of functional coatings on the surface of elements of augers of machines of technological cycle of utilization of manure and centrifuges for sewage treatment.

Subject of study - regularities of the technological process of surface formation with the set operational properties that provide the required quality (durability, environmental safety, wear resistance, efficiency) of augers of the technological cycle of manure utilization and centrifuges for wastewater treatment.

The aim of the work is to improve the technology of production and repair of augers of machines involved in the technological cycle of manure removal and utilization in livestock complexes and augers of centrifuges type OGSh, designed for domestic and industrial wastewater treatment, by forming on their wear

surfaces, protective coatings formed due to the use of environmentally and technogenic safe technologies: ESA, application of MPM, SPD, etc.

To achieve this goal it is necessary to solve the following **tasks**:

1. To choose ecologically and technogenically safe technologies of manufacturing and repair of turns and landing places under bearings of auger rolling.

2. Carry out research aimed at increasing the thickness of the layer formed by the ESA method on installations with a manual vibrator.

3. Carry out research aimed at creating thick-layer coatings on flat and curved surfaces formed by mechanized ESA units, the thickness of which is comparable to coatings formed on the surfaces of parts of rotating bodies.

4. To improve ecologically and technogenically safe combined technology of restoration of the worn landing surfaces of ESA + MPM details by reinforcement of MPM and thus, increase of its hardness and durability.

5. Create environmentally friendly and man-made a safe way to attach the segments to worn areas of the screw surfaces of the auger.

6. To develop ecologically and technogenically safe way of increase in thickness of the strengthened layer at ESA, due to drawing CEC formed by the CESA method and alloying by means of electrodes-tools from soft antifrictional and hard wear-resistant metals.

7. Carry out research of samples made of material used for the manufacture of augers, with different protective coatings for hydro abrasive wear.

8. To develop technological recommendations for ecologically and technogenically safe production and repair of augers of machines involved in the technological cycle of manure removal and utilization in livestock complexes and augers of centrifuges such as OGSh and to introduce research results into production.

In the introduction the choice of the topic of the dissertation and scientific tasks is substantiated, the purpose and tasks of research are formulated, the

scientific novelty and practical value of the received results are defined, and also the information on approbation, structure and volume of work is resulted.

In the first section on the basis of the analysis of the structure of the machines involved in the technological cycle of manure removal and utilization it is established that the main working body that determines the time of their operation is the auger. It is shown that augers work in severe conditions of abrasive, corrosive and other types of wear, and methods of their manufacture and repair are environmentally hazardous. All this allowed to formulate the purpose and tasks of the dissertation.

In the second section the system of the directed choice of ecologically safe technology of renovation of the responsible details of the technological equipment involved in the process of sewage treatment which works with a constant loading in severe conditions of hydroabrasive wear is developed. On the basis of theoretical researches the formalized technique of definition of an optimum variant of technology of repair of the auger is developed. In this case, each option is implemented by possible combinations of solutions minimized from economic and environmental indicators. The equation of weight and linear wear of protective electrospark coatings of auger blades is investigated and the algorithm for determination of their constants (maximum weight wear Δm_h , maximum linear wear Δh_h and activation energy of E_A wear process) is offered.

The third section devoted to the method of experimental studies of the influence of various technologies on the surface quality of the elements of the augers involved in the processing and disposal of manure and centrifuges for wastewater treatment. Features of ESA technology at processing of surfaces of elements of the auger were considered. A number of techniques aimed at improving the quality and properties of coatings obtained by improving the technology of forming restored layers by ESA, application of combined electrospark coatings (CEC), cementation by ESA, combined technologies (CT) of combining ESA with the application of materials laser treatment (LT), surface plastic deformation (SPD) and plastic deformation (PD). The wear resistance of the

proposed protective coatings from hydroabrasive wear, formed by the methods described above, was investigated on a specially designed installation for weight loss and reduced sample thickness, and the relative wear resistance of samples to restore and strengthen the landing surfaces of the auger under rolling bearings, tested on friction machine SMTs-2 according to the scheme "disk - flat sample".

In the fourth section As a result of research, a range of technological methods has been developed, the use of which in the manufacture and repair of machine augers will increase their reliability and durability: improved technology of restoration and strengthening of steel surfaces by ESA, which differs in the applied layers of wear-resistant metal and alloying modes. As a result, there is a minimal increase in the level of surface roughness when achieving the greatest continuity and thickness of the formed coating; proposed a new CT restoration of parts, including environmentally friendly technologies of ESA and MPM, which consists in the fact that applied to the surface treated by the ESA method, apply a layer of MPM, which is reinforced with wire that has undergone heat treatment. After polymerization and finishing by a mechanical method the surface layer, quality, wear resistance is formed, reliability and durability of which is higher than when using the method of MPM without reinforcement; developed a new method of simultaneous restoration and strengthening of stainless steel parts 12Kh18N10T, by applying CEC formed in the sequence: CESA → ESA Al → ESA T15K6 in which the zone of increased hardness reaches 360 μm, surface roughness $R_a = 7.5 \mu\text{m}$ 11500 MPa; developed environmentally friendly CT of the formation of wear-resistant coatings, including sequential ESA hard alloy T15K6 when applying MPM and LT, which increased the coating thickness to 600 μm with a microhardness of 7.3 - 10.0 GPa and a solidity of 100%; proposed a new CT restoration and simultaneous hardening of the surfaces of parts such as bodies of rotation, which allows to form on steel surfaces CEC, formed in the sequence: CESA → ESA Al → ESA T15K6 → MPM, up to 1.5 mm thick, 100% solidity, microhardness 10100-9500 MPa and roughness $R_a = 1.2 \mu\text{m}$; developed a new CT

of the formation of wear-resistant coatings on flat and curved surfaces of stainless steel parts 12Kh18N10T, formed in the sequence: CESA → ESA Al → → ESA T15K6 → SPD → MPM → PD, the thickness of which is ~ 1.3 mm, microhardness up to 11000 and roughness, Ra ~ 1.0 μm.

In the fifth chapter developed technological recommendations for the implementation of the results of research into production. For practical use is offered environmentally friendly technology of restoration and simultaneous strengthening of parts made of sheet steel, which includes removing the worn part and replacing it with a separate segment with a pre-made groove or recess, which is connected to the restored part with a permanent connection, while strengthening the restored part carried out by the ESA method. Also offered ecologically safe technology of strengthening of details from sheet steel by the CESA method which application is followed by: considerable (by an order of magnitude) decrease in expenses of the electric power and time for heat treatment; the absence of leashes and warping, and hence the need for additional machining to eliminate them after heat treatment. The range of technological processes of ecologically safe restoration of seats of screws under rolling bearings is developed that allows to apply various technologies depending on size of wear: to 0,22 mm – ESA T15K6 → MPM; up to 0.25 mm – ESA T15K6 → MPM reinforced with hard alloy VK6; up to 0.35 mm – CESA → ESA Al → ESA T15K6 → MPM; up to 1.5 mm – ESA T15K6 → MPM, reinforced with wire.

As a result of research of samples of steel 12Kh18N10T with various coverings on hydroabrasive wear it is established that wear resistance of the CEC formed in sequence: CESA → ESA Al → ESA T15K6 → SPD → MPM, reinforced VK6 → PD, respectively, by 820%; 550%; 160%; 120%; and 110% more uncoated samples; ESA T15K6; ESA T15K6 → MPM; stellite surfacing; ESA T15K6 → MPM → LT. Resistance against hydroabrasive wear in steel samples 65G is higher than in steel samples 30Kh13 and 40Kh, when hardened in oil, respectively, by 33% and 31%; and when hardening in air, by 13% and 33%, respectively. As a result of researches of relative wear resistance of coverings of

samples from steel 12Kh18N10T used for restoration of landing surfaces of screws it is established that wear of samples from steel 12Kh18N10T without covering, accordingly, on 630%; 470%; 260% and 250% higher than the samples with coatings formed in the sequence: CESA → ESA Al → ESA T15K6 → MPM; ESA T15K6 → MPM, reinforced with hard alloy VK6; ESA T15K6 → MPM, reinforced wire rotor ESA T15K6 → MPM.

Studies of the influence of welding on changes in the composition of the air showed that when surfacing on steel 12Kh18N10T wear-resistant coating with an electrode brand OK61.30 \varnothing 2.5 mm there is a much larger amount of carbon dioxide CO₂ and unstable NO ions are formed, that is, gases are created that are toxic even in small concentrations. Traces of ozone O₃ using a mass spectrometer were not detected. When studying the chemical composition of the gaseous medium in the area of work with ESA steel 12Kh18N10T on the installation "Elitron-52A" electrode-tool made of hard alloy T15K6 with a discharge energy of 3.4 J, it was found that the mass spectrum of the gas medium is almost identical to the mass spectrum of clean air. Minor differences are observed only in the amount of water vapor, which is most likely due to different humidity.

According to the set purpose and tasks in work the following **results** are received:

1. The system of the directed choice of the most effective technology of protection of screws of the cars involved in a technological cycle of removal and utilization of manure in livestock complexes with a large number of pigs and cattle and centrifuges on sewage treatment working with constant loading in severe conditions of hydroabrasive wear and tear, and a negative environment.

2. A new technology for restoration and strengthening of worn surfaces of parts by environmentally friendly ESA method, which provides the greatest thickness and continuity of the coating with a minimum increase in the roughness of the formed surface (UA patent for utility model № 138052).

3. The combined technology of restoration of landing surfaces of details including environmentally friendly safe methods of ESA and application of MPM,

which provides by reinforcing the latter, increasing the hardness and strength of the applied coating (patent UA for invention № 117980).

4. A new technology for the simultaneous restoration and strengthening of augers made of stainless steel 12Kh18N10T, by applying CEC, formed in the sequence: CESA → ESA Al → ESA T15K6 in whose zone of increased hardness reaches 360 μm, surface roughness $R_a = 7.5 \mu\text{m}$, surface microhardness layer is 11500 MPa (patent UA for the invention №136895).

5. The ecologically safe technology of strengthening of details from sheet steel by the CESA method which application is followed by: considerable (by an order of magnitude) decrease in expenses of the electric power and time for heat treatment is developed; the absence of leashes and grooves, and hence the need for additional machining to eliminate them after heat treatment (patent UA for utility model № 141992).

6. A new combined technology of forming on round, flat and curved surfaces of the auger wear-resistant thick-layer coatings formed by environmentally friendly methods in the sequence: CESA → ESA Al → ESA T15K6 → SPD → application of MPM, reinforced with ~ 1,3-1,5 mm, microhardness up to 11.0 GPa, 100% continuity and roughness, $R_a \sim 1.0 \mu\text{m}$ (UA patents for utility model № 141919, 141920, 142338).

7. It is proposed to replace environmentally harmful technology of welding segments with wear-resistant coatings on worn sections of auger blades with environmentally friendly, which consists in attaching mechanically (UA patents for utility model № 140467 and 140468).

8. Developed and implemented in the production of technological recommendations for the manufacture and repair of augers of machines involved in the technological cycle of removal and disposal of manure and centrifuges for wastewater treatment, environmentally friendly methods with the expected economic effect of 197 thousand UAH.

Scientific novelty of the obtained results:

1. For the first time a functional relationship between the laws of the technological process of forming the surface of the part with the specified performance properties and integrated indicators of economic efficiency and environmental safety, which allowed to quantify the impact of each component of the repair process on environmental safety as a whole.

2. For the first time, experimental studies have established a correlation between weight and linear wear of steel samples with electrospark coatings and the amount of energy expended on friction, which in the first approximation resembles an exponentially increasing dependence. The equation of weight and linear wear of protective electrospark coatings of auger blades is obtained and an algorithm for determining their constants (maximum weight wear Δm_H , maximum linear wear Δh_H and activation energy of E_A wear process) is proposed.

3. For the first time a mathematical model of synthesis of a variant of a technological solution was developed, which using the Harrington desirability function allows to make a directed choice of repair technology taking into account the indicators of ecological safety of the process.

4. For the first time the ecologically and technogenically safe method of restoration and strengthening of the details made of sheet steel which essence consists in removal of a part of a detail and its replacement by a separate segment with the preliminary executed groove or a recess which is connected with the restored detail inseparable from connection, while the strengthening of the restored part is carried out by the method of ESA.

5. The sequence of electroerosion alloying at restoration of details which feature consists that at first put a layer, using the modes providing the greatest continuity and thickness of a covering, then alloy, the same electrode, on the modes when surface roughness approximately in 2 -4 times higher than in the previous stage. As a result, there is a minimal increase in the level of surface roughness when achieving the greatest continuity and thickness of the formed coating.

6. For the first time, the significant role of ESA technology in terms of environmental safety, when using it to strengthen and restore parts in comparison with technologies related to welding and surfacing of metal surfaces.

The practical significance of the obtained results is to develop technological recommendations for the manufacture and repair of elements of machine augers, adapted to the operating conditions in the technological cycle of removal and disposal of manure in livestock complexes and augers centrifuge type of OGSh operating on treatment facilities and intended for treatment of domestic and industrial wastewater.

Keywords: centrifuge, conveyor, auger, technological cycle, abrasive, wear, wear resistance, functional coatings, directional selection, electrospark alloying, metal-polymeric materials, surface plastic deformation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	15
1.1 Роль тваринництва в економіці України	15
1.2 Аналіз машин та обладнання технологічного циклу видалення та утилізації гною.....	16
1.3 Аналіз методів очищення стічних вод	23
1.4 Аналіз господарської діяльності Державного комунального підприємства (ДКП) "Міськводоканал" м Суми	27
1.5 Конструктивні особливості осаджуючої горизонтальної шнекової центрифуги типу ОГШ.....	29
1.6 Аналіз технологічних методів зміцнення та відновлення поверхонь шнека центрифуги типу ОГШ.....	31
1.7 Аналіз екологічно і техногенно безпечних технологій зміцнення і відновлення поверхонь шнека центрифуги типу ОГШ.....	39
1.8 Висновки до розділу 1.....	42
1.9 Мета роботи і завдання досліджень.....	43
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ НАПРАВЛЕНОГО ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ШНЕКІВ	45
2.1 Аналіз критеріїв та показників, що використовуються при комплексній оцінці екологічної безпеки виробничих процесів	45
2.2 Формалізована модель оцінки екологічної безпеки виробничих процесів з використанням функція Харрінгтона	50
2.3 Спрямований вибір найбільш ефективної технології захисту шнеків машин, задіяних в переробці і утилізації гною і центрифуг з очищення стічних вод	60
2.4 Висновки до розділу 2.....	69
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	71

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ШНЕКІВ МАШИН, ЗАДІЯНИХ В ПЕРЕРОБЦІ І УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ ТА ЦЕНТРИФУГ З ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД.....	
3.1 Особливості технології ЕІЛ при обробці поверхонь елементів шнеків	71
3.2 Методика підвищення якості зміцнюваного або відновлюваного методом ЕІЛ поверхневого шару	75
3.3 Методика відновлення зношених посадкових поверхонь шнека методом ЕІЛ з подальшим нанесенням МПМ	76
3.4 Методика відновлення і зміцнення зношених посадкових поверхонь під підшипники кочення	77
3.5 Методика відновлення і одночасного зміцнення поверхонь деталей інтегрованою технологією ЕІЛ + МПМ + ЛЮ	78
3.6 Методика формування товстошарових КЕІП на поверхнях деталей типу тіл обертання екологічно безпечними технологіями	81
3.7 Методика формування товстошарових КЕІП на плоских і криволінійних поверхнях деталей екологічно безпечними технологіями	83
3.8 Методика розробки екологічно безпечної технології зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕІЛ.....	87
3.9 Вибір матеріалів для проведення досліджень з розробки екологічно безпечної технології виготовлення і ремонту шнеків.....	89
3.10 Методика дослідження зносостійкості зразків з захисними КЕІП проти гідроабразивного зносу і фреттинг – корозії.....	91
3.11 Методика дослідження впливу захисних КЕІП на фізико-механічні властивості деталей.....	94
3.12 Методика оцінки екологічної безпеки технології ЕІЛ і наплавлення металевих поверхонь.....	95
3.13. Висновки по розділу 3.....	98
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОБЕЗПЕЧНОЇТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ШНЕКІВ МАШИН, ЗАДІЯНИХ В ПЕРЕРОБЦІ І УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ І ЦЕНТРИФУГ З ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД	101

4.1 Підвищення якості покриттів, що наносяться методом ЕІЛ, при відновленні і зміцненні, зношених поверхонь деталей	101
4.2 Удосконалення технології відновлення зношених поверхонь деталей методом ЕІЛ з подальшим нанесенням МПМ	108
4.3 Удосконалення технології відновлення і одночасного зміцнення зношених поверхонь деталей нанесенням КЕП	113
4.4 Розробка комбінованої технології ЕІЛ + МПМ + ЛО відновлення деталей	122
4.5 Розробка технології формування товстошарових зносостійких покриттів екологічно безпечними методами	132
4.6 Висновки до розділу 4.....	136
РОЗДІЛ 5 ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	139
5.1 Нова екологічно безпечна технологія відновлення лопатей шнеків, виготовлених з листової сталі	139
5.2 Нова технологія формування товстошарових зносостійких КЕП на сегментах зі сталі 12Х18Н10Т	142
5.3 Нова технологія зміцнення сегментів, виготовлених зі сталі 65Г, 40Х та 30Х13.....	147
5.4 Технологія відновлення посадочних місць шнеків під підшипники кочення	153
5.5 Технологія відновлення посадочних місць шнеків під підшипники кочення	155
5.6 Оцінка відносної зносостійкості покриттів, застосовуваних для відновлення посадочних поверхонь шнеків	160
5.7 Результати дослідження впливу способів обробки поверхонь шнека на механічні властивості.....	162
5.8. Результати досліджень впливу процесів зварювання, наплавлення зварюванням і ЕІЛ на екологічну безпеку	163
5.9 Технологічні рекомендації застосування технології виготовлення і	166

ремонті шнеків центрифуг і машин з видалення, переробки та утилізації гною.....	
5.10 Висновки до розділу 5.....	171
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	173
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	175
ДОДАТКИ.....	195

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕІЛ – електроіскрове легування;

МПМ – металополімерні матеріали;

ЕП – електроіскрові покриття;

КЕП – комбіновані ЕП;

ЦЕІЛ – цементация методом ЕІЛ;

КТ – комбіновані технології;

ЛО – лазерна обробка;

ППД – поверхнєве пластичне деформування;

ПД – пластичне деформування;

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сільськогосподарській галузі України тваринництво, яке забезпечує населення продуктами харчування і виробляє сировину для багатьох галузей народного господарства, займає одне з найважливіших місць. Головними галузями тваринництва є скотарство, свинарство, птахівництво і вівчарство, інші галузі мають менше значення.

Тваринництво є тією важливою галуззю, яка забезпечує зміцнення економіки країни, поставки різних дієтичних, вітамінізованих і висококалорійних продуктів харчування для населення, сировини для консервної, м'ясної, текстильної, маслосироварної, шкіряної галузей промисловості, органічних добрив для рослинництва і сприяє рівномірному використанню засобів виробництва, трудових ресурсів, постійного надходження коштів товаровиробникам тваринницької продукції.

У тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней, великої рогатої худоби і птиці постійно існує проблема забезпечення необхідного технічного стану машин та обладнання, задіяних в технологічному циклі з переробки гною. Такий цикл включає в себе прибирання, транспортування, поділ гною на тверду та рідку фракції з подальшим її фільтруванням та знезараженням для збереження екологічної чистоти навколишнього середовища поблизу підприємств з виробництва тваринницької продукції.

Слід зазначити, що на всіх етапах технологічного циклу одним з основних робочих органів машин, задіяних в переробці гною, є шнеки, технічний стан яких лімітує термін служби окремо використовуваних машин і таким чином забезпечує надійність і довговічність всієї потокової технологічної лінії.

Аналіз умов роботи шнеків показав, що вони працюють в важких умовах абразивного, корозійного та інших видів зносу. Гвинтові поверхні лопотів шнеків, що контактують із гноєм, піддаються зношуванню. Через швидке порушення ущільнень підшипники додатково піддаються хімічному

впливу гною, що приводить до їхнього передчасного зношування, люфтам, відмові.

Існуючі на сьогоднішній день технології виготовлення й ремонту шнеків сільськогосподарських машин включають енергозатратні, екологічно й техногенно небезпечні технології, зв'язані зі зварюванням наплавленням, газотермічним напилюванням і ін.

У цей час внаслідок скидання недостатньо очищених промислових, комунальних і сільськогосподарських стоків, а також надходження забруднень із розосередженим стоком з водозбірних територій практично повсюдно відбувається забруднення водних об'єктів і всього навколишнього середовища. Отже, не менш важливою проблемою, що виникає при очищенні стічних вод, є підтримка в робочому стані центрифуг, шнек яких зношується через 1,5 - 3 тис. год, а вартість становить 30 % її вартості.

Таким чином, роботи спрямовані на підвищення якості виготовлення і ремонту шнеків машин для переробки та екологічно безпечної утилізації гною екологічно безпечними методами, є актуальними і своєчасними, та мають велике значення для розвитку економіки України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконана на кафедрі технічного сервісу Сумського національного аграрного університету (СНАУ) згідно з планом держбюджетної НДР МОН України «Дослідження ресурсозберігаючих технологій формування функціональних покриттів робочих поверхонь деталей машин» (НДР № 0118U100099), а також госпдоговору № 31-8-3 із науково-виробничим підприємством «ТРИЗ ЛТД» на тему «Розробка технології формування прироблювальних покриттів бронзових підшипників ковзання», де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є удосконалення технології виготовлення і ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, призначених для очищення побутових та виробничих стічних вод, шляхом формування на їх поверхнях, що зношуються, захисних покриттів, сформованих за рахунок використання екологічно та техногенно безпечних технологій: ЕІЛ, нанесення МПМ, ППД та ін.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Вибрати екологічно й техногенно безпечні технології виготовлення й ремонту витків і посадкових місць під підшипники кочення шнека.
2. Провести дослідження, спрямовані на збільшення товщини шару, сформованого методом ЕІЛ на установках з ручним вібратором.
3. Провести дослідження, спрямовані на створення товстошарових покриттів на плоских і криволінійних поверхнях сформованих механізованими установками ЕІЛ, товщина яких порівняна з покриттями, формованими на поверхнях деталей тіл обертання.
4. Удосконалити екологічно й техногенно безпечну комбіновану технологію відновлення зношених посадкових поверхонь деталей ЕІЛ + МПМ шляхом армування МПМ і таким чином, підвищення його твердості й міцності.
5. Створити екологічно й техногенно безпечний спосіб прикріплення сегментів на зношені ділянки гвинтових поверхонь шнека.
6. Розробити екологічно й техногенно безпечний спосіб збільшення товщини зміцненого шару при ЕІЛ, за рахунок нанесення КЕІП, сформованих методом ЦЕІЛ і легуванням за допомогою електродів-інструментів з м'яких антифрикційних і твердих зносостійких металів.
7. Провести дослідження зразків виготовлених з матеріалу, який використовують для виготовлення шнеків, з різними захисними покриттями на гідро абразивний знос.

8. Розробити технологічні рекомендації екологічно й техногенно безпечного виготовлення й ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ і впровадити результати досліджень у виробництво.

Об'єкт дослідження – технологічний процес формування функціональних покриттів на поверхні елементів шнеків машин технологічного циклу утилізації гною та центрифуг для очищення стічних вод.

Предмет дослідження – закономірності технологічного процесу формоутворення поверхні із заданими експлуатаційними властивостями, що забезпечують необхідну якість (довговічність, екологічну безпеку, зносостійкість, працездатність) шнеків машин технологічного циклу утилізації гною та центрифуг для очищення стічних вод.

Методи дослідження. Метод системного аналізу дозволив досліджувати конструкторсько-технологічні вимоги до елементів шнеків, а також існуючі методи підвищення їх зносостійкості.

Метод синтезу дозволив здійснити науково обґрунтований синтез раціональної технології формування захисних покриттів на робочих поверхнях шнеків, для яких забезпечення павраметрів якості досягається різними методами.

Під час розроблення системи спрямованого вибору технології формування захисних покриттів використовували: теорію графів, математичну логіку, булеву алгебру, математичне моделювання, як метод оптимізації застосовували метод мінімальних перерізів.

Металографічний аналіз зразків проводили з метою оцінювання якості поверхневого шару, його суцільності, товщини й будови зон підшару. Одночасно проводили дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі й за глибиною шліфа від поверхні.

Рентгеноструктурний аналіз передбачав топографічний аналіз найбільш характерних ділянок і якісний рентгенівський мікроаналіз поверхневого шару для ідентифікації основних елементів у ньому.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше встановлено функціональний взаємозв'язок між закономірностями технологічного процесу формоутворення поверхні деталі з заданими експлуатаційними властивостями і інтегральними показниками економічної ефективності та екологічної безпеки, яка дозволила кількісно оцінити вплив кожної складової технологічного процесу ремонту на екологічну безпеку виробництва в цілому.

2. Вперше експериментальними дослідженнями встановлено кореляційний зв'язок вагового і лінійного зносу сталевих зразків з електроіскровими покриттями від величини енергії, витраченої на тертя, який в першому наближенні нагадує експоненціально зростаючу залежність. Отримано рівняння вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів лопатей шнека і запропонований алгоритм для визначення їх констант (максимального вагового зносу Δm_n , максимального лінійного зносу Δh_n і енергії активації процесу зносу E_A).

3. Вперше розроблено математичну модель синтезу варіанта технологічного рішення, яка використовуючи функцію бажаності Харрінгтона дозволяє здійснити спрямований вибір технології ремонту з урахуванням показників екологічної безпеки процесу.

4. Вперше запропонована екологічно і техногенно безпечна технологія відновлення та зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі, яка включає видалення і заміну її окремим сегментом з попередньо виконаним пазом або виточкою, який з'єднують з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕІЛ.

5. Одержала подальший розвиток технологія електроерозійного легування, особливість якої полягає у тім, що спочатку наносять шар, використовуючи режими, що забезпечують найбільшу суцільність і товщину покриття, потім легують, тим же електродом, по режимах, коли шорсткість поверхні приблизно в 2–4 рази вище, ніж на попередньому етапі. У результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні при досягненні найбільшої суцільності й товщини сформованого покриття.

6. Вперше доведена визначна роль технології ЕІЛ з точки зору екологічної безпеки, при використанні її для зміцнення та відновлення деталей в порівнянні з технологіями, які пов'язані з зварюванням та наплавленням металевих поверхонь.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці технологічних рекомендацій по виготовленню та ремонту елементів шнеків машин, адаптованих до умов роботи в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, працюючих на очисних спорудах та призначених для очищення побутових та виробничих стічних вод.

Результати дисертаційної роботи впроваджені:

– у КП «Міськводоканал» Сумської міської ради при реновації відповідальних деталей відцентрових насосів, центрифуг та технологічного обладнання, що працює з постійним навантаженням в важких умовах гідроабразивного та інших видів зношування із планованим річним економічним ефектом 93 000 грн;

– у ПСП АФ «Соснівська» Конотопського району та ТОВ «Хлібодар» Сумського району при ремонті витків і посадкових місць під підшипники кочення шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, які використовують для очищення води із планованим річним економічним ефектом в 47 000 грн та 52 000 грн відповідно;

– у навчальному процесі Сумського національного аграрного університету на кафедрі технічного сервісу при викладанні дисциплін «Ремонт машин», «Ремонт машин і обладнання» і «Технологія машинобудування в галузі», а також під час виконання магістерських робіт, курсових та дипломних проектів.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, винесені на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: обґрунтування планів і програм експериментів, їхня реалізація, особиста участь в обробці результатів. Постановка цілей і задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем разом з науковим керівником. Особистий внесок автора конкретизовано в списку публікацій. Внесок автора в роботи, виконані у співавторстві, полягав у реалізації досліджень, безпосередній участі в аналізі та інтерпретації даних, підготовці публікацій і проведенні дослідно-промислових випробувань.

Апробація результатів дисертації. Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи оприлюднені та позитивно оцінені на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях» (22-26 травня 2017, м. Суми); «Технології XXI століття» (15-20 вересня 2019, м. Одеса); «Матеріали для роботи в екстремальних умовах» (18-19 грудня 2019, м. Київ); «Молодь і технічний прогрес в АПВ. Інноваційні розробки в аграрній сфері» (7-8 травня 2020, м. Харків); «Актуальні проблеми інженерної механіки» (12-15 травня 2020, м. Одеса).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 34 наукових праці (5 з яких у виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus), у тому числі 10 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або

Європейського Союзу), 17 патентів, 7 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків, викладена на 246 сторінках машинописного тексту. Основний текст становить 168 сторінок, містить 26 таблиць, 76 ілюстрацій. Список використаних джерел складається з 167 найменувань на 20 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Роль тваринництва в економіці України

Сільське господарство в усі часи було системоутворюючою галуззю для суспільства в аспекті забезпечення його життєдіяльності. Україна як аграрно-індустріальна країна цілком залежить від перспектив сільського господарства, що зумовлено участю і місцем цієї галузі в сучасній економіці нашої держави [1].

У сільськогосподарській галузі України тваринництво, яке забезпечує населення продуктами харчування і виробляє сировину для багатьох галузей народного господарства, займає одне з найважливіших місць.

Тваринництво - це одна з провідних сфер продовольчого комплексу України, який має розгалужену структуру. Головними галузями тваринництва є скотарство, свинарство, птахівництво і вівчарство, інші галузі мають менше значення.

Тваринництво є тією важливою галуззю, яка забезпечує зміцнення економіки країни, поставки різних дієтичних, вітамінізованих і висококалорійних продуктів харчування для населення, сировини для консервної, м'ясної, текстильної, маслосироварної, шкіряної галузей промисловості, органічних добрив для рослинництва і сприяє рівномірному використанню засобів виробництва, трудових ресурсів, постійного надходження коштів товаровиробникам тваринницької продукції [2].

За роки незалежності спостерігалось зменшення обсягів виробництва продукції тваринництва, що зумовлено рядом факторів: зменшення поголів'я; зменшення продуктивності; нестача виробничих потужностей для переробки. Однак в останні роки почався процес поступового збільшення обсягів продукції тваринництва, що можна пов'язати із загальним економічним зростанням

країни, підвищенням платоспроможного попиту населення на якісні вітчизняні продукти харчування.

У перспективі основними напрямками розвитку галузей тваринництва повинні стати - раціональне поєднання великого, середнього і дрібнотоварного виробництва, використання інтенсивних і традиційних факторів його розвитку на основі комплексного рішення в рамках цільових програм збільшення виробництва кормів, вдосконалення селекційно-племінної роботи, підвищення зацікавленості товаровиробників у кінцевих результатах. [3]

Таким чином, розвиток тваринництва необхідно розглядати в контексті комплексного розвитку агропромислового комплексу України, де гармонійно розвиваються всі галузі. Незважаючи на велику кількість проблем у розвитку сільськогосподарського виробництва, необхідно створити умови для ефективного розвитку цієї галузі народного господарства, тому що саме сільськогосподарське виробництво забезпечує економічну безпеку держави.

1.2. Аналіз машин та обладнання технологічного циклу видалення та утилізації гною

Основним напрямком в механізації і автоматизації тваринництва в сільському господарстві є розробка та впровадження екологічно безпечних ресурсозберігаючих технологій і технічних засобів, що дає можливість товаровиробнику випускати більш дешеве і якісне обладнання, яке дозволяє поліпшити умови утримання тварин.

У тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней, великої рогатої худоби (ВРХ) і птиці постійно існує проблема забезпечення необхідного технічного стану машин та обладнання, задіяних в технологічному циклі з переробки гною. Такий цикл включає в себе прибирання, транспортування, поділ гною на тверду та рідку фракції з подальшим її фільтруванням та знезараженням для збереження екологічної чистоти

навколишнього середовища поблизу підприємств з виробництва тваринницької продукції (рис. 1.1).

Слід зазначити, що на всіх етапах технологічного циклу одним з основних робочих органів машин, задіяних в переробці гною, є шнеки, технічний стан яких лімітує термін служби окремо використовуваних машин і таким чином забезпечує надійність і довговічність всієї потокової технологічної лінії.

Таким чином, роботи спрямовані на підвищення якості виготовлення і ремонту шнеків машин для переробки та екологічно безпечної утилізації гною, є актуальними і своєчасними, що мають велике значення для розвитку економіки України.

Згідно [4] в умовах промислових комплексів з великим поголів'ям свиней, крупної рогатої худоби та птиці утилізація й переробка гною є нагальною потребою. По-перше, недоцільно є складувати значну кількість відходів і зберігати їх визначений час; по-друге, ця проблема зумовлена високими витратами на повну переробку; по-третє, відсутній відповідний комплекс машин і обладнання призначеного для переробки великої кількості відходів. Внаслідок цього спостерігається нагромадження їх на території ферм, розмноження і поширення патогенних мікроорганізмів, забруднення атмосферного повітря сірководнем, аміаком, молекулярним азотом та іншими, токсикогенними неагресивними сполуками в т.ч., важкими металами.



Рисунок 1.1 - Технологічний цикл видалення та утилізації гною

Відновлення великомасштабного тваринництва в Україні ставить перед науковцями та практиками серйозні проблеми у галузі збереження екологічної чистоти навколишнього середовища поблизу підприємств з виробництва тваринницької продукції. Особливо гостро ця проблема постає при використанні на фермах і комплексах промислових технологій виробництва продукції. По-перше, різко зростає вихід гною у перерахунку на господарство; по-друге, змінюється характер гною; по-третє, підвищується роль умовно-патогенної мікрофлори в біоценозах ферм і виробничих будівель, що сприяє виникненню захворювань тварин і зниженню якості виробленої продукції [5, 6].

Умови утримання тварин, особливо мікроклімат, значно впливають на продуктивність. На мікроклімат тваринницького приміщення істотно впливає спосіб прибирання гною, який повинен мінімізувати загазованість, накопичення сірководню, аміаку та інших шкідливих речовин [7].

Відомо [8], що за незадовільних умов утримання потенційна продуктивність свиней реалізується лише на 70-80% та погіршується збереженість молодняку. Одним із найбільш відповідальних періодів технологічного процесу виробництва свинини є дорощування свиней [9], коли створюються багато несприятливих факторів їх росту та розвитку, тому їм слід створити якомога сприятливіші умови утримання та годівлі [10, 11].

Існуючі механічні засоби видалення гною вимагають високої кваліфікації працівників, що виконують монтаж, недостатньо надійні, часто виконані з дешевих, неякісних матеріалів. Все це веде до частих відмов окремих складових частин і системи гноєвидалення в цілому. На їх усунення витрачаються значний час і матеріальні ресурси.

Підвищення надійності, збільшення термінів служби робочих органів і механізмів, що працюють в агресивному середовищі, науково обґрунтований вибір комплектів обладнання і технологій дозволить прискорити вирішення проблеми ефективного видалення гною [12].

Застосовуються два основних способи прибирання гною з тваринницьких приміщень - механічний і гідравлічний. Використовують також комбінований спосіб, який поєднує в собі обидва названі. Окремим можна вважати спосіб прибирання гною з тваринницького приміщення в сховище під його підлогою [13].

Слід зазначити, що найбільш ефективний шлях екологічно безпечного виробництва, зниження кошторисної вартості будівництва ліній збирання і утилізації гною, енергетичних і трудових витрат, а також експлуатаційних витрат - це зменшення виходу маси стоків з виробничого сектора підприємств, яке може бути забезпечене лише за рахунок скорочення надходження води в систему гноєвидалення. Тому вдосконалення систем видалення гною повинно

бути направлено, в першу чергу, на застосування безводних способів його прибирання [14]

Механічна система представлена мобільними і стаціонарними засобами, що застосовуються для видалення гною, які можуть працювати як на рідкому, так і на підстилковому гної. [15].

Засоби для прибирання гною з корівників класифікуються виходячи з способу утримання тварин (підстилке і безпідстилке), додаткового застосування води в системах або безводне прибирання (гідралічні або механічні), за конструктивним виконанням, а також принципу дії.

До механічних систем відносяться транспортери кругової (ланцюгово-скребкові) і зворотно-поступальної дії (штангові), установки з каретками, гвинтові конвеєри (шнеки), скреперні установки, мобільні агрегати, поршневі і насосні установки транспортування гною з корівників [16].

Згідно [17] видалення гною і його транспортування за межі тваринницьких приміщень доцільно проводити механічними (скребковими, штанговими і шнековими транспортерами (ШТ), скреперними установками зворотно-поступальної дії, а також бульдозерами різних типів) і гідралічними (самопливними системами безперервної і періодичної дії, а також прямим змивом водою) способами. При цьому спосіб прямого змиву водою застосовують як виняток, так як він пов'язаний з великою витратою води.

Основні вузли ШТ: поздовжні і поперечні шнеки (гвинти), приводи, жолоби, упори.

Шнекова система збирання гною використовується в поздовжніх і поперечних каналах (рис. 1.2). Поздовжні канали під ШТ перекриваються металевими ґратами шириною не менше 500 мм. На дно каналу укладаються заставні зі сталевієї напівтруби діаметром, відповідним діаметру шнека. Поперечні ШТ можуть обслуговувати кілька тваринницьких приміщень. Максимальна довжина шнекового транспортеру - 150 м [18].

Як правило, горизонтальні ШТ для гною встановлюються на центральному проході (в центрі) або в кінці корівника під рівнем підлоги [19].

Горизонтальні шнеки для гною ізольовані і обладнані огороженнями у вигляді решіток і пластин.



а



б

Рисунок 1.2 – Шнеки для видалення гною: **а** – горизонтальний, **б** – з поперечного каналу

Видалення гною з поперечного каналу тваринницького приміщення до приймального контейнера чи резервуару для зберігання, або до місця завантаження в транспортні засоби здійснюється ШТ, призначеним для збирання гною вологістю 75% і більше (рис. 1.2, б). Спіраль шнеків виконують зі сталевих дисків товщиною 2,5-3 мм. Їх зовнішній діаметр 230 мм, внутрішній - 80 мм. Крок шнека 140 мм.

В якості приводів шнека використовують редуктори приводів ШТ типу ТСН-3,0Б. Між редуктором і шнеком ставлять карданний вал [20]. Поздовжні ШТ з правого і лівого навивання дозволяють переміщати гній в поперечний канал, розташований в центрі корівника [21].

Шнекові транспортери мають високе напрацювання на відмову до 800 годин, практично не вимагають щоденного технічного обслуговування, коефіцієнт готовності досягає 0,99 [22].

На відміну від скребкових транспортерів шлях транспортування гною ШТ тільки корисний, тобто він переміщує гній безпосередньо від місця його подачі, без протилежних і додаткових переміщень, які мають місце при роботі

транспортерів кругового дії, за рахунок цього ШТ дозволяють істотно підвищити санітарно-гігієнічні умови виробництва. Обов'язковою умовою використання ШТ для прибирання гною є гарантоване огороження худоби та персоналу від можливості контакту з ними, особливо під час їх обертання [20, 23].

Безпосередньо для фермерських господарств розроблені ШТ для прибирання гною з приміщень для прив'язного утримання 100 і 50 голів ВРХ відповідно. Їх основні параметри відповідають параметрам комплексу КШТ-Ф-200А, за винятком встановленої потужності приводної станції і довжини транспортера [24, 25].

Найбільш поширеними способами видалення рідкого матеріалу є механічні.

Сепаратори піску-гною Макланахан переміщують, очищають і розділяють матеріали за допомогою похилого шнекового сепаратора. По мірі переміщення матеріалу до розвантажувального кінця, рідкий гній починає відділятися від піску. Використовуючи цей метод, виробники можуть відокремити від 80 до 90 відсотків піску, в залежності від розміру зерен піску і якості води. Сепаратори такого типу можуть використовуватися в поєднанні з системами анаеробного зброджування без істотних труднощів.



а



б

Рисунок 1.3 – Шнековий сепаратор (а) та укладаючий шнек (б) [26]

Укладачі - шнеки Макланахан зазвичай встановлюються разом з системою поділу рідкої і твердої фаз і є в різних варіантах довжини. Вони

використовуються на молочних фермах для укладання твердого гною, відокремленого за допомогою сепаратора.

В даний час розроблені установки для приготування органічних добрив. Вони включають в себе бетонований котлован глибиною 1,8 ... 2,0 м, в якому розташований насос марки УТН-10. Над ним розміщений бункер-змішувач-накопичувач місткістю 2 ... 3 т. Всі ці пристрої знаходяться в окремому, ізольованому від тварин приміщенні.

Установка працює в такий спосіб. Транспортер подає гній з тваринницького приміщення, а інший ШТ подає торф, соломку, хімічні реагенти в бункер. Туди ж підводиться пар або інший теплоносій [27]. При обертанні вся маса ретельно перемішується, обробляється паром і під впливом шнека, власної маси і вакууму, що створюється насосом, подається по трубопроводу на майданчик-сховище, де рівномірно укладається.

В агропромислових комплексах з метою поділу гною на фракції застосовуються фільтруючі і осаджувальні центрифуги. Фільтруюча центрифуга марки УОН-700, складається з наступних основних елементів: рами з прикріпленим гвинтовим з'єднанням кожухом, у внутрішній частині якого встановлений на валу фільтруючий ротор із закріпленими лопатками, і шнека. Центрифуга марки НОГШ-500, складається із закритого кожуха, ротора, всередині якого закріплений шнек, що складається з порожнього валу з отворами в циліндричній поверхні.

Відокремлена від твердої фракції вода використовується для поливу або скидається в стічні води (СВ).

1.3 Аналіз методів очищення стічних вод

Методи очищення СВ можна розділити на механічні, фізико-хімічні та біохімічні. В процесі очищення СВ утворюються осади, які піддаються знешкодженню, знезараженню, зневодненню, сушінню. Якщо за умовами скидання СВ у водойму потрібно більш високий ступінь очищення, то після споруд повної біологічної очистки СВ влаштовують споруди глибокого

очищення. Відповідно до «Водного кодексу» [28], СВ після очищення перед скиданням у водойму знезаражують з метою знищення патогенних мікроорганізмів.

Спори механічного очищення СВ призначені для затримання нерозчинених домішок [29]. До них відносяться: решітки; сита; пісколовки; відстійники; фільтри різних конструкцій. Відстійники затримують осідаючі і плаваючі забруднення СВ. Спори механічного очищення СВ є попередньою стадією перед біологічним очищенням. При механічному очищенні СВ вдається затримати до 60% нерозчинених забруднень.

Фізико-хімічні методи очищення СВ з урахуванням техніко-економічних показників використовують досить рідко. Ці методи в основному застосовують для очищення виробничих СВ. До методів фізико-хімічної очистки виробничих СВ відносяться реагентне очищення, сорбція, екстракція, евапорація, дегазація, іонний обмін, озонування, електрофлотація, хлорування, електродіаліз і ін.

Біологічні методи очищення СВ засновані на життєдіяльності мікроорганізмів, які мінералізують розчинені органічні сполуки, що є для мікроорганізмів джерелами живлення [30].

В даний час біологічному очищенні піддається більшість промислових і побутових СВ перед їх скиданням у водойми. Принцип біологічної очистки стоків полягає в тому, що при деяких умовах мікроби здатні розщеплювати органіку до простих речовин, таких як вода, вуглекислий газ, тощо [31].

В очищеній воді після біологічної очистки виробничих СВ містяться органічні речовини (продукти метаболізму, не окислені забруднення і т.п.), які відносяться до складноокислюваних з'єднань [32, 33].

Глибоке очищення СВ може знадобитися, якщо в СВ після повної біологічної очистки перед скиданням у водойму необхідно знизити концентрацію завислих речовин, величину показників БПК, ХПК і ін. При повторному використанні біологічно очищеної СВ відповідно до санітарних норм потрібно застосовувати хлорування [34].

Технологічні схеми очищення виробничих СВ можуть застосовуватися при використанні найрізноманітніших методів очищення, включаючи фізико-хімічні методи, біологічний метод і т. Д. Це залежить від специфіки забруднюючих СВ речовин, їх концентрації та ГДК скидання в міську каналізацію [34, 35].

Залежно від гідрогеологічних умов місцевості, характеру виробничих процесів в даному регіоні, витрати води на господарсько-побутові та виробничі цілі вибирається та чи інша система водовідведення і, відповідно, схема водовідвідної мережі. Забруднення господарсько-побутових і виробничих стоків впливають на технологію очищення води і на екологічну ситуацію в даному районі [30, 35, 36-38].

У зв'язку із зростанням антропогенного впливу на навколишнє середовище і збільшенням в світі дефіциту питної води дедалі актуальнішими стають питання очищення природних і СВ. Очищення виробничих СВ серйозна екологічна проблема для підприємств, які споживають у великих кількостях воду для власних потреб [39]. Згідно [40] встановлені допустимі величини показників якості СВ, що надходять на очистку (рис. 1.4)

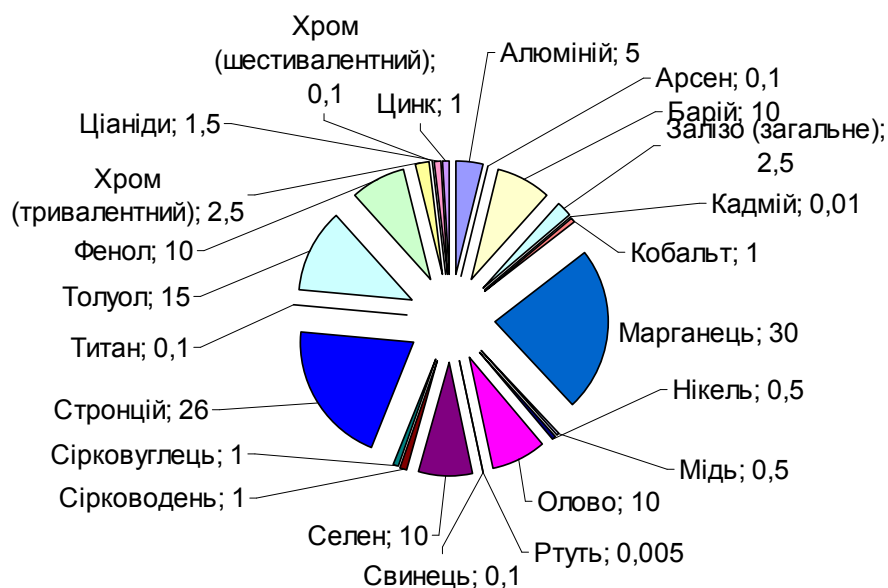


Рисунок 1.4 – Гранично допустима концентрація показників в СВ, що надходять на очистку, г/м³

Одним із напрямів удосконалення систем водопостачання та водовідведення є застосування нанотехнологій [41].

До області нанотехнологій слід віднести і мембранну очистку води. Мембранне розділення під тиском за розміром пір мембран, а, отже, і розміру затримуваних частинок підрозділяється на [42]:

- а) мікрофільтрацію (розмір пір 10^{-8} - 10^{-6} м);
- б) ультрафільтрацію (10^{-9} - 10^{-8} м);
- в) нанофільтрацію (10^{-10} - 10^{-9} м);
- г) зворотний осмос (менш 10^{-10} м).

За допомогою мікрофільтрації з води видаляються завислі речовини, колоїди, деякі види мікроорганізмів і метали, фосфор, а також знижується її жорсткість; за допомогою ультрафільтрації в воді знижується концентрація зважених речовин, колоїдів і деяких органічних забруднень, видаляються бактерії деякі види вірусів, знижується жорсткість води [43]. За допомогою зворотного осмосу з води видаляється більшість солей, нітрати, нітрити, аміак, фосфор, фториди, а також радіоактивні речовини [42, 43].

В процесі мембранної обробки води одночасно з видаленням перерахованих вище забруднень буде відбуватися її опріснення, зниження лужності і окислюваність. Крім того, методи мембранного поділу дозволяють видалити з води сірководень і вільну вуглекислоту [44].

У 1997 р. в м. Мілтон (Канада) був введений в дію перший в світі мембранний біореактор (МБР), в якому об'єднуються біологічна очистка з ультра або мікрофільтрацією. В даний час в світі працюють більше 2000 установок типу МБР, що застосовуються для очищення господарсько-побутових стоків [45, 46].

Способи обробки СВ мембранними біореакторами реалізуються в установках для очищення стічних вод різних виробництв [47-52].

1.4 Аналіз господарської діяльності Державного комунального підприємства (ДКП) "Міськводоканал" м Суми

ДКП "Міськводоканал" забезпечує водопостачання і водовідведення жителів міста Суми, промислових підприємств і організацій всіх форм власності. Потужність водопроводу становить 96,28 тис. м³ / добу.

Для забезпечення водопостачання в м. Суми знаходиться в експлуатації 491,4 км водопровідних мереж діаметром від 50 мм до 800 мм. Очисні споруди проектною потужністю 135 тис. м³ / добу. забезпечують необхідну очистку стічних вод відповідно до вимог регламенту, санітарно-епідеміологічних органів, екологічної інспекції. Фактично очисні споруди забезпечують очистку стічних вод в обсязі 65-70 тис. м³ / добу.

Загальна потужність очисних споруд становить 135 тис. м³ / добу. На рис. 1.5 зображена схема балансу руху СВ на очисних спорудах.

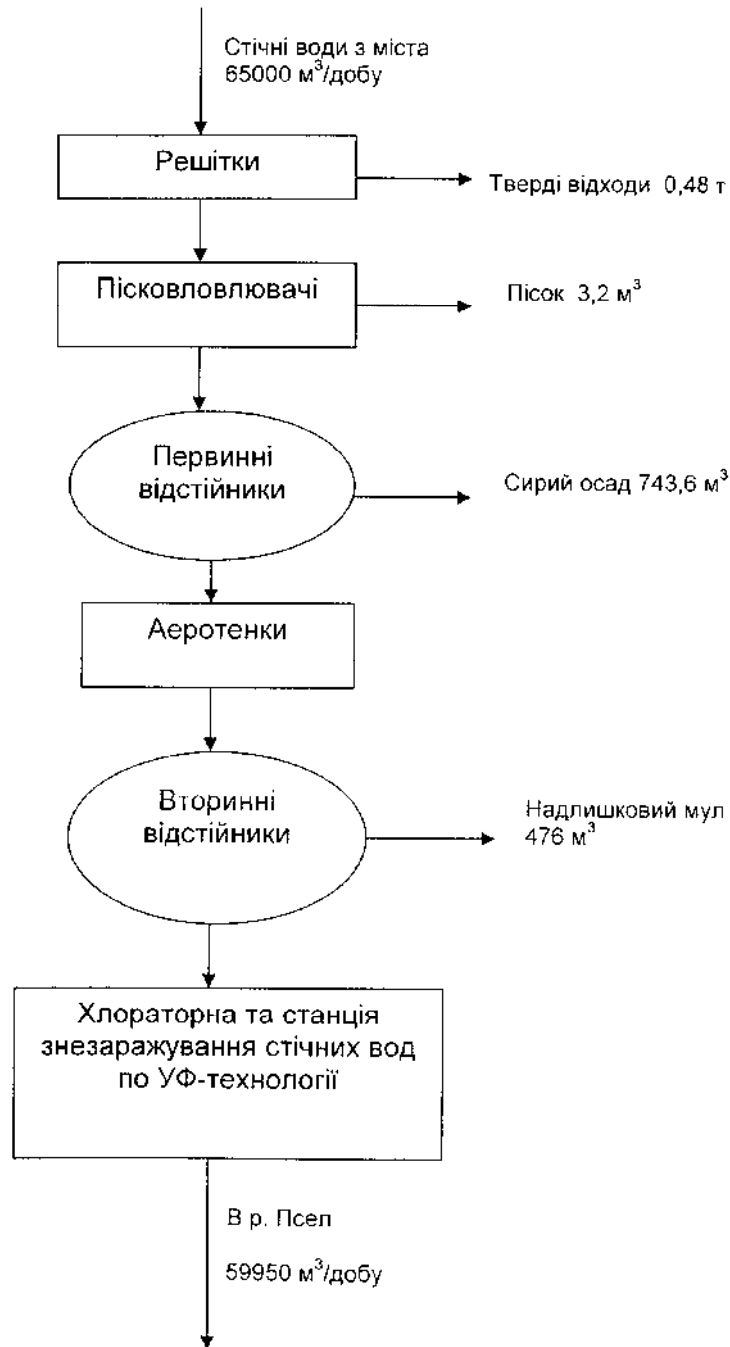


Рисунок 1.5 - Схема балансу руху СВ на очисних спорудах

При скиданні стічних вод після біологічного очищення (після вторинних відстійників) показники очищення стоків повинні відповідати вимогам проекту і "Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами". Концентрація шкідливих речовин в очищених стічних водах повинна бути не більше величин, прийнятих СанПІН - 4630-88 і «Правил охорони поверхневих вод для рибогосподарських водойм».

1.5 Конструктивні особливості осаджуючої горизонтальної шнекової центрифуги типу ОГШ

Загальна конструктивна ознака центрифуг типу ОГШ (рис. 1.6) - горизонтальне розташування осі циліндроконічного ротора 9 з співвісно-розташованим всередині нього шнеком 8. Ротор і шнек обертаються в одному напрямку, але з різною частотою, в результаті чого шнек транспортує осад уздовж ротора до вивантажувальних вікон 2, розташованих у вузькій частині ротора. Ротор центрифуги, розташований на двох опорах 6 і 11, приводиться в обертання від електродвигуна через клинопасову передачу. Привід шнека - від ротора центрифуги через спеціальний редуктор 12. Ротор закритий кожухом 3 з перегородками, що відділяють камеру 10 (для вивантаження осаду) від камери 7 (для відведення фільтрату). При перевантаженні захисний пристрій 1 вимикає центрифугу, одночасно включаються світловий і звуковий сигнали. Суспензія подається по живильній трубі 4 у внутрішню порожнину шнека, звідки через вікна обичайки шнека надходить в ротор. Під дією відцентрової сили відбувається її поділ, і на стінках ротора осідають частинки твердої фази. Осад транспортується до вивантажувальних вікон. Освітлена рідина тече в протилежну сторону, до зливних вікон 5 переливається через зливний поріг і викидається з ротора в кожух.

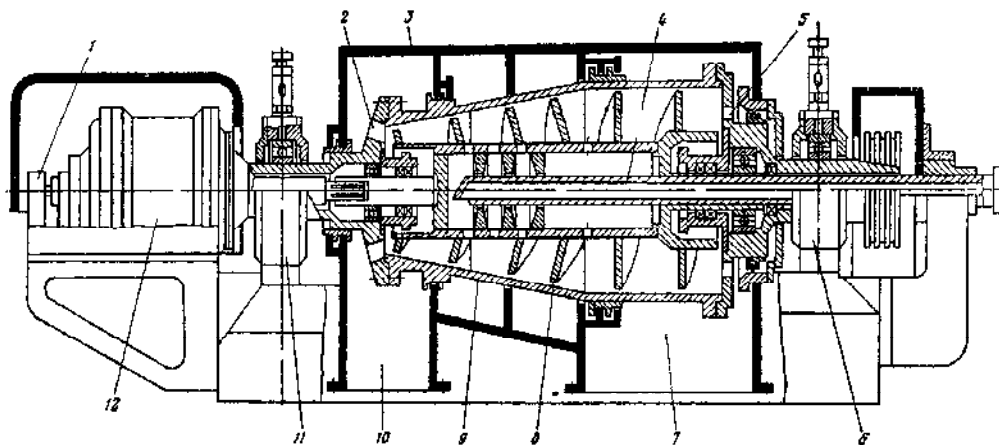


Рисунок 1.6 – Конструктивна схема центрифуг типу ОГШ:

1 - захисний пристрій редуктора; 2, 5 - вікна вивантаження осаду і зливу фільтрату; 3 - кожух; 4 - живильна труба; 6, 11 - опори; 7, 10 - камери відведення фільтрату і вивантаження осаду; 8 - шнек, 9 - ротор; 12 - планетарний редуктор.

Центрифуги ОГШ призначені для розділення суспензій з концентрацією твердої фази від 1 до 40% (об.) При крупності частинок понад 5 мкм і різниці щільності твердої та рідкої фаз більше 200 кг / м³.

Всім центрифугам типу ОГШ притаманні такі переваги: висока продуктивність при малих габаритах і безперервність технологічного процесу, відсутність фільтруючого елемента, схильного до швидкого зносу або забивання; можливість змінювати концентрацію суспензії під час роботи; простота обслуговування.

До недоліків машин слід віднести порівняно швидкий знос шнека і ротора при обробці абразивних продуктів.

Згідно ГОСТ 8459-78, ротори центрифуг ОГШ мають діаметр 200, 325, 350, 500, 630, 800, 1000 мм.

Центрифуги виготовляють з різних матеріалів, в залежності від призначення. Вибір матеріалу визначається необхідними властивостями міцності і корозійної стійкості матеріалів в оброблюваному середовищі. Ротори центрифуг звареної конструкції зазвичай виготовляють з сталей різних марок, в тому числі високоміцних і корозійностійких, а також з титанових сплавів. Деталі ротора (маточина, днище, обід, борт, спиці, стійки і ін.) зазвичай виконують з кованим листовим прокатом або литими. Вали центрифуг виготовляють з кованих конструкційних легированих сталей (сталі 40, 38ХА, 40А, Х17Н2 і ін.).

Корпус планетарного редуктора шнекових центрифуг виготовляють з поковок сталі 40; корпуси великих редукторів (діаметром більше 800 мм) можуть бути відлиті зі сталі 35Л. Ванни з внутрішніми зубами виготовляють зі сталі 40Х

або аналогічної їй, шестерні (сателіти) - з поковок азотованої сталі 38Х2МЮА або цементованої сталі 18ХН3А.

Згідно [53], в залежності від навколишнього середовища застосовують такі матеріали ротора і кожуха центрифуг:

- нелеговані чорні метали: допускається обробка при температурі до 45 °С суспензій, що містять нейтральні і лужні солі, такі як нітрати натрію, кадмію, барію; анілінові барвники, солі кремнієвої, миш'якової і миш'яковистою кислот; сульфати і гідросульфати натрію, кальцію, магнію, цинку, барію, кадмію; фосфати натрію і калію; хлорид натрію; хромати металів; ціаніди натрію та калію;

- корозійно-стійка сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632-72), крім суспензій, перерахованих вище, допускається обробка при температурі не вище 70 °С також суспензій, що містять такі сполуки: гідросульфат натрію, калію, кальцію; броміди і йодиди натрію і калію (до 30 °С і до 10% мас.); солі міді всіх кислот крім соляної; саліцилову кислоту (до 30 °С); сульфід металів; розчини сульфатів заліза і міді, що містять до 10% сірчаної кислоти; ацетати алюмінію, міді, свинцю; фосфати (гідрофосфати) натрію, калію, кальцію, барію, стронцію, магнію, цинку (до 30 °С); оксалати;

- корозійно-стійка сталь 10Х17Н13М2Т або 10Х17Н13М3Т (ГОСТ 5632-72), крім суспензій, перерахованих вище, допускається обробка при температурі не вище 60-65 °С суспензій, до складу яких входять такі сполуки: сульфат амонію, що містить до 10% (до 40 °С) вільної сірчаної кислоти; ацетати всіх металів, що містять вільну оцтову кислоту.

1.6 Аналіз технологічних методів зміцнення та відновлення поверхонь шнека центрифуги типу ОГШ

На очисних спорудах для обробки промислових та побутових стічних вод широко використовуються центрифуги марки ОГШ-631К-02, продуктивністю

до 30 м³ / год. Матеріалом деталей вузлів, що стикаються з оброблюваним продуктом служить нержавіюча сталь 12Х18Н10Т [53].

Як матеріал захисту витків шнека від абразивного зносу застосовують безвольфрамовий твердий сплав марки ТН-20, що складається, згідно ГОСТу 26530-85, з карбиду титану 79%, нікелю до 15%, молібдену до 6% і ніобію 0,05-0,1 %.

Пісок, що міститься в осаді, не затриманий пісколовками, є основною причиною зносу шнеків центрифуг. Шнеки, виготовлені зі сталі 12Х18Н10Т, істотно зношуються через 1,5 - 3 тис. год. роботи. Оскільки вартість шнека досить значна (30% вартості центрифуги), практикується періодична заміна шнеків відреставрованих в заводських умовах [54, 55].

В ПАТ "Сумське НВО" ремонт шнека включає відновлення лінії витка до номінальних розмірів. Захист витків твердосплавним зносостійким напиленням або твердосплавними пластинами з подальшим динамічним балансуванням шнека.

Згідно [56], при ремонті шнека по його зовнішній межі наплавляють стеліт (литий сплав кобальту, хрому, вольфраму, нікелю і вуглецю) або сормайт - хромонікелевий сплав на залізній основі, за властивостями і структурою близький до стеліту, але має інший хімічний склад.

Склад окремих марок литих твердих сплавів, застосовуваних для підвищення зносостійкості деталей машин, що працюють в умовах абразивного та інших видів зносу, представлений в [57], а найбільш поширені показані в табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Склад найбільш поширених марок твердих сплавів, застосовуваних при ремонті шнеків

Марка сплаву	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Co	Fe	Твердість, HRC
Стеліт 1	2.45	1.0	1.0	33.0	< 2,5	13.0	Решта	< 2.5	51-60
Сормайт 1	2,5-3,3	2,8-4,2	1,5	25,0-31,0	3,0- 5,0	-	-	Решта	48-54
Сормайт 2	1,5-2,0	1,5-2,2	1,0	13,0-17,5	1,3-2,1	-	-	Решта	56-60

Нанесення матеріалів, зазначених у табл. 1.1 виконують зазвичай наплавленням спеціально виготовленими електродами. Випускаються вони у вигляді литих прутків або стрижнів довжиною 300 - 400 мм, діаметром 5 - 8 мм.

При ремонті центрифуги марки ОГШ-631К-02, що вийшла з ладу на очисних спорудах, що входять до складу ДКП "Міськводоканал" м Суми, покриття наносять на окремі сегменти, які потім приварюють по шаблону до поверхонь шнека [58].

На рис. 1.7 представлені традиційні технології зміцнення та відновлення зношених поверхонь елементів шнека центрифуги, що застосовуються на промислових підприємствах в різних країнах світу.

Слід зазначити, що всі вище розглянуті методи, як нанесення покриттів на окремі сегменти, так і способи прикріплення їх до витків шнека, є енерговитратними і в тій чи іншій мірі пов'язані з підвищеною техногенною та екологічною небезпекою.

До традиційних методів відновлення посадочних поверхонь шнеків центрифуг під підшипники кочення (ПК) відносяться: гальванічне виробництво, плазмове і полум'яне напилення, наплавлення, зварювання та ін.

Гальванічне виробництво - це галузь промисловості, що здійснює нанесення захисних або декоративних покриттів на металеві та неметалеві вироби (цинкування, нікелювання, оксидування), а також зняття одного з шарів з поверхні матеріалу, наприклад, іржі або жиру (знежирення), з метою подальшого нанесення нового покриття [66].

Так як основними джерелами забруднення навколишнього середовища в гальванотехніці є гальванічні стоки і відпрацьовані концентровані розчини, то однією з головних задач технічних систем екологічної безпеки гальванічних цехів є ефективна нейтралізація небезпечних хімічних речовин, що містяться в стічних водах і розчинах, а також їх максимальне очищення і безпечна утилізація [67 -72].

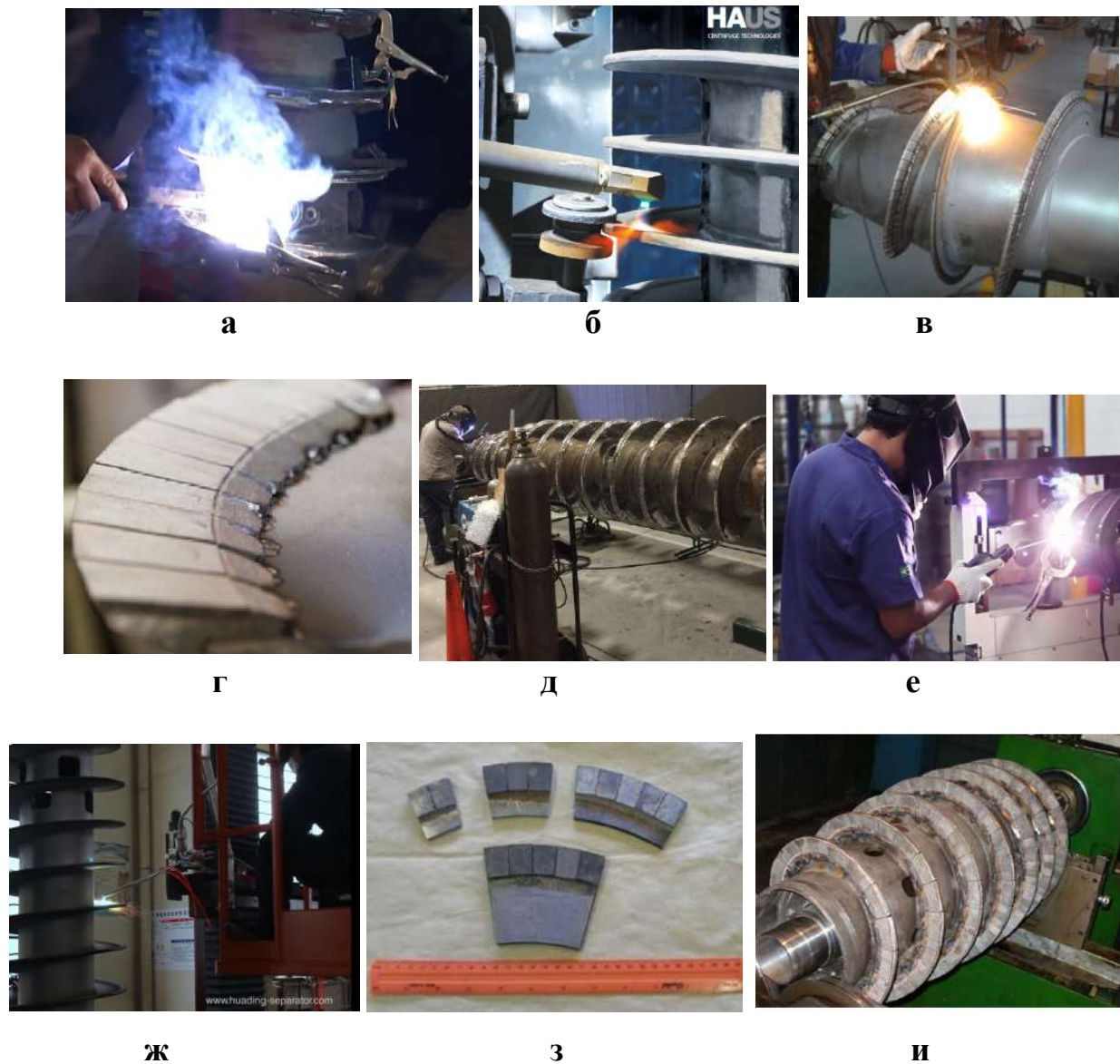


Рисунок 1.7 – Відновлення і зміцнення шнека центрифуги: **а** - приварюванням сегментів з твердосплавними пластинами на підприємстві Rotating Equipmet Repair, LLC (США) [59]; **б** - покриттям шнека карбідом вольфраму плазмовим напиленням на підприємстві HAUS (Туреччина) [60]; **в** - нанесенням захисного покриття або приварюванням твердосплавних пластин на підприємстві Spomasz Wronki - Grupa Ferrum Sp. z o.o. (Польща) [61]; **г** - монтажем на шнек лопаток з твердосплавними пластинами на підприємстві Sabaros S.A. (Швейцарія) [62]; **д** - нанесенням покриттів на підприємстві Pinnacle Industrial Services (Канада) [63]; **ж** - автоматизованим процесом газополум'яного напилення карбідного покриття на підприємстві HUADING MACHINERY CO., LTD. (Китай) [64]; **з, и** - формуванням кромки «пера шнека» кріпленням сектора з твердосплавними пластинами аргонодуговим зварюванням на підприємстві Fluitech Systems (Україна, м.Суми) [65]

У більшості випадків сучасні машини експлуатуються в жорстких умовах контактування з абразивними речовинами, що викликають інтенсивний знос або корозію. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування спеціальних способів обробки, які забезпечують радикальне підвищення зносостійкості, корозійної стійкості та інших властивостей робочої поверхні матеріалів [73].

Плазмове напилення призначене для нанесення покриттів різного призначення за допомогою розпилювання порошкових і дротяних матеріалів. Звичайна товщина покриттів складає від 0,5 до 2,0 мм із середнім відхиленням $\pm 20\%$. До недоліків методу слід віднести: наявність пористості та інших видів несущільностей (2-15%); невисока адгезійна і когезійна міцність покриття; високий рівень шуму при веденні процесу (60-120дБ) [74].

В [75] описані основні санітарно-гігієнічні, і екологічно-естетичні вимоги, що пред'являються до виробничої ділянки плазмових покриттів: ділянка повинна бути розташованій на першому поверсі, при цьому вільна площа повинна складати на одного працюючого не менше 10 м²; камера плазмового напилення повинна бути обладнана автономною потужною витяжною вентиляцією, яка передбачає збір порошку в системі типу "Циклон"; ділянка повинна бути обладнана протипожежним постом зі штатним інвентарем і засобами гасіння пожежі; балони з воднем встановлювати тільки з зовнішньої сторони будівлі в спеціальній клітці, виключаючи доступ стороннім особам; на ділянці категорично неприпустимо накопичення пилу будь-якого походження.

Згідно [76] газозварювальне обладнання є вибухонебезпечним і вимагає суворого дотримання заходів безпеки. Устаткування для газополум'яної обробки металів має відповідати вимогам ГОСТ 12.2.008 «Обладнання та апаратура для газополум'яної обробки металів і термічного напилення покриттів. На пересувному посту для виконання газополум'яних робіт повинні бути в наявності: один переносний ацетиленовий балон з розчиненим ацетиленом, один кисневий балон, кисневий і ацетиленовий редуктори, гумові

шланги і необхідний інструмент. Переносний генератор під час роботи обгороджують бар'єрами з попереджувальним написом «Вогненебезпечно. Не підходити з вогнем».

Для проведення зварювальних робіт на підприємствах застосовується MIG / MAG зварювання - дугове зварювання металевим електродом (дротом) в середовищі інертного / активного захисного газу з автоматичною подачею присадного дроту. Застосування такого зварювання супроводжується рядом екологічних проблем.

Основним джерелом небезпечних і шкідливих факторів зварювання в захисних газах є світлове випромінювання іонізованого в дузі аргону. Поглинання фотона з довжиною хвилі $\sim 100-1500$ нм викликає квантовий перехід молекул повітря і речовин, що містяться в ньому, з основного електронного стану в один з порушених станів, або фотоіонізацію - відщеплення електрона і утворення катіон-радикала з подальшими так званими фотохімічними реакціями [77]. При гальмуванні короткого ультрафіолету, випромінюваного аргонном, відбуваються фотохімічні реакції з молекулярним киснем і азотом, з утворенням озону та оксиду азоту. Озон - O_3 , алотропна форма кисню, є потужним окислювачем. Завдяки своїй хімічній активності озон має дуже низьку гранично допустиму концентрацію в повітрі (порівнянну з ГДК бойових отруйних речовин) $5 \cdot 10^{-8}\%$ або $0,1 \text{ мг / м}^3$, що в 10 разів більше нюхового порога для людини. Окис азоту - NO на повітрі швидко окислюється в двоокис азоту - NO_2 , який відіграє основну роль при отруєнні. Оксиди азоту викликають ураження глибоких відділів повітроносних шляхів і набряк легень. Отруєння озоном і оксидами азоту може призвести до летального результату, в результаті паралічу дихання [78].

У зону дуги при струменевому захисті сумішню аргону і вуглекислого газу потрапляє близько 3 - 6% атмосферного повітря. У неї ж виділяються розчинені в металі гази. Дослідженнями [79], визначено, що в зоні дуги може бути синтез біологічно активних речовин (БАР) - CN , HCN , NO_2 , N_2O , CO , які надходять в повітря робочої зони.

Ремонтне зварювання і наплавка деталей машин і механізмів на сьогоднішній день є одними з основних технологічних методів відновлення експлуатаційних властивостей деталей і зміцнення їх поверхонь [80-84].

Наплавлення - це нанесення шару металу на поверхню заготовки або виробу за допомогою зварювання плавленням (ГОСТ 2601-84). У разі застосування для цієї мети зварювання тиском вживається термін наварка (плакування). Відновлювальна наплавка (наварка) застосовується для відновлення початкових розмірів зношених або пошкоджених деталей [85].

При виконанні зварювання на працюючих можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори. До шкідливих виробничих факторів відносяться (ГОСТ 12.0.003-74): підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень ультрафіолетової, і інфрачервоної радіації; підвищена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; недостатня освітленість робочої зони; небезпека ураження електричним струмом; іскри, бризки, викид розплавленого металу і шлаку [86].

На ділянках зварювання склад і маса речовин, що виділяються залежить від властивостей, застосовуваних зварювальних і зварюємих матеріалів. Найбільші виділення шкідливих речовин характерні для ручного зварювання покритими електродами. При напівавтоматичному і автоматичному зварюванні загальна маса шкідливих речовин менше в 1,5 - 2,0 рази. Зварювальний пил на 99% складається з частинок розміром від 10^{-3} до 1,0 мкм, близько 1% пилу має розмір часток 1 - 5 мкм, частинки розміром більше 5 мкм складають десятки частки відсотка [87].

З метою отримання високої твердості в поверхневому шарі деталі зі збереженням в'язкої серцевини, що забезпечує захисні властивості поверхні з механічною міцністю основи, застосовують поверхнєве загартування або хіміко-термічну обробку (ХТО).

Поверхнєве загартування відрізняється від ХТО меншою тривалістю процесу. У практиці найбільш широке застосування знайшов спосіб, що виконується струмом високої частоти (СВЧ), основні переваги якого:

мінімальне викривлення, висока продуктивність. Загартування СВЧ застосовується тільки в масовому і великосерійному виробництві через високу вартість обладнання та відпрацювання технології [88].

Одним з напрямів збільшення опору тертю і зношуванню деталей є створення методом ХТО на їх поверхнях шарів хімічних сполук, властивості яких відрізняються від властивостей основних металів. Основними методами ХТО є: цементація [89], алітування [90, 91], сульфидування [92] і ін.

Незважаючи на те, що в результаті ХТО значно підвищується якість поверхневих шарів деталей машин, метод має і ряд недоліків. Це поведення і викривлення; громіздке і дороге технологічне оснащення; тривалість процесу, використання енергоємного обладнання та ін. Крім цього окремі операції ХТО небезпечні для навколишнього середовища. Так, основним недоліком ціанування є отруйність ціанистих солей, і необхідність у зв'язку з цим прийняття спеціальних заходів з охорони праці.

Згідно [93] на процес виникнення і розвитку техногенного ризику впливає безліч факторів і умов, серед яких: відмови в роботі систем і агрегатів внаслідок їх конструктивних недоліків, низьку якість виготовлення або порушення правил технічного обслуговування; відхилення від нормальних умов експлуатації; помилки персоналу; зовнішні впливи та ін.

На думку професора Г.Т. Фрумїна, термічна і ХТО деталей відносяться до найбільш поширених факторів ризику.

Слід зазначити, що всі вище розглянуті методи, як нанесення покриттів на окремі сегменти, так і способи прикріплення їх до витків шнека, є енерговитратними і в тій чи іншій мірі пов'язані з підвищеною екологічною небезпекою.

Таким чином, аналіз сучасних технологій, що використовуються при виготовленні і ремонті шнеків машин задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною, а також шнеків центрифуг, використовуваних для подальшого очищення стічних вод, показав, що одним з основних недоліків

застосовуваних методів є їх негативний вплив, як на людину, так і на навколишнє середовище.

1.7 Аналіз екологічно і техногенно безпечних технологій зміцнення і відновлення поверхонь шнека центрифуги типу ОГШ

Значна кількість технологічних прийомів нанесення і різноманіття областей застосування покриттів, широкий спектр матеріалів для цього роблять непростим в умовах конкурентного підходу об'єктивне рішення щодо вибору покриття і оптимальної технології його нанесення.

Економічна доцільність ремонту обумовлена тим, що близько 45% деталей машин, що надходять в ремонт, зношуються в допустимих межах і можуть бути використані повторно [94].

Згідно [95] працездатність і ресурс відновлених деталей складає в середньому 60 ... 80% від показників у нових деталях. Однак в даний час відомі технологічні методи (електромеханічні, електрофізичні та ін.), за допомогою яких можна повністю відновити первинний ресурс деталей або навіть збільшити його.

Для підвищення довговічності деталей застосовуються різні технологічні способи зміцнення. Основним їх завданням є підвищення якісних параметрів поверхневого шару: підвищення твердості і мікротвердості, зниження шорсткості, підвищення зносостійкості і відновлення зношених ділянок поверхонь, зміна величини і знаку залишкових напружень, збільшення втомної міцності і т.п.

В останні роки, для підвищення якості поверхневих шарів деталей машин, все більшої значущості набуває метод електроіскрового легування (ЕІЛ) - процес перенесення матеріалу на поверхню виробу іскровим електричним розрядом [96-98]. Його специфічними особливостями, які цікавлять технологів, є: екологічна та техногенна безпека, локальність дії, мала витрата енергії, відсутність об'ємного нагріву матеріалу, міцне з'єднання

нанесеного матеріалу з основою, простота автоматизації, можливість поєднання операцій. Використовуючи різні електродні матеріали методом ЕІЛ можна проводити процеси, альтернативні ХТО, але зі значно меншими витратами. Так, використовуючи графітовий електрод і насичуючи поверхню деталі вуглецем можна здійснювати процес цементації, ЕІЛ алюмінієвим електродом - процес алітування і ін. [99-101].

В [102] розглянуто спосіб сульфоцементації ЕІЛ графітовим електродом сталеві поверхні виробу, при якому безпосередньо перед легуванням графітовим електродом на сталеву поверхню наносять консистентні речовини, що містять сірку. При цьому одночасно протікає два процеси цементація і сульфидування.

Однією з характерних особливостей методу ЕІЛ є обмеження в товщині формованого поверхневого шару. Згідно [103], дослідження вчених і фахівців в ближньому і далекому зарубіжжі спрямовані переважно на створення нових електродних матеріалів для ЕІЛ, вивчення структури і властивостей покриттів [104-108].

Вирішенню проблеми підвищення товщини покриття і якості його поверхні присвячені роботи в яких досліджені процеси формування покриттів в яких тверді зносостійкі матеріали поєднуються з м'якими антифрикційними металами [109-112] або технологія ЕІЛ поєднується з іншою технологією, наприклад, лазерною обробкою [113-114], ППД [115-117], нанесенням металополімерних матеріалів (МПМ) [118] та ін.

При виборі технологічного способу відновлення велике значення має величина максимального зносу, при якій деталь стає непридатною до експлуатації. У загальному випадку 85% деталей машин стають непридатними при зносі, що не перевищують $(0,2 \div 0,3) \cdot 10^{-3}$ м [119].

В даний час розрізняють два напрямки в ЕІЛ: чистове і грубе. При чистовому на катоді (деталі) формуються відносно тонкі до 0,1 мм шари з висотою нерівностей профілю покриття Rz не більше 40 мкм, при грубому товщина формованого шару може досягати 0,15-0,2 мм і більше з Rz = 80 мкм

[97]. Хоча традиційно розрізняють установки для чистового і грубого легування, існує ряд установок, які можуть застосовуватися як для першого, так і для другого випадків, наприклад, «Елітрон-52».

Для відновлення і зміцнення деталей типу «тіл обертання» використовуються механізовані установки ЕІЛ, що базуються на токарно-гвинторізних верстатах [120]. В даний час науково-виробнича компанія "SCINTI" (Республіка Молдова) випускає установки, призначені для відновлення або зміцнення деталей в ручному режимі (рис. 1.8, **а**) або для відновлення або зміцнення деталей тіл обертання механізованим багатоелектродним інструментом (рис. 1.8, **б**).

Товщина шару, що наноситься в процесі ЕІЛ за один прохід залежить від матеріалу електрода, режиму і часу обробки.

**а****б**

Рисунок 1.8 – Установки для відновлення або зміцнення деталей: **а** - в ручному режимі - моделі «ALIER-52» і **б** - механізованим багатоелектродним інструментом для деталей тіл обертання - моделі «ALIER-72».

При використанні в якості електрода нержавіючої сталі 12X18H10T або високоміцної нержавіючої сталі ВНС-2 (08X15H5Д2Т) за один прохід товщина покриття може досягати 0,6 мм на діаметр, при суцільності покриття, відповідно 70 і 60%. Шорсткість поверхні в цьому випадку досягає 300 мкм.

Після 5-ти проходів товщина шару досягає 2,8 мм на діаметр, суцільність знижується, відповідно до 50-60%. Сталь 08X15H5Д2Т на відміну від сталі 12X18H10Т при ЕІЛ зміцнюється і її мікротвердість в покритті становить 4780 МПа [121].

1.8 Висновки по розділу 1:

1. Аналіз будови машин та обладнання задіяних в технологічному циклу видалення та утилізації гною (шнекові транспортери, сепаратори, преси, укладачі, навантажувачі установки для виготовлення добрив, фільтруючі й осаджуючі центрифуги та ін.) показав, що основним робочим органом, який визначає час їх роботи, є шнек.

2. Аналіз умов роботи шнеків показав, що вони працюють в важких умовах абразивного, корозійного та інших видів зносу, а методи їх виготовлення і ремонту негативні для людини та є екологічно небезпечними.

3. Однією з найбільш істотних проблем, що виникають при очищенні стічних вод, є підтримка в робочому стані центрифуг, шнек яких зношується через 1,5 - 3 тис. год, а вартість становить 30 % її вартості.

4. Серед розглянутих методів зміцнення й відновлення деталей великої уваги заслуговують ЕІЛ, нанесення МПМ і ППД, які екологічно та техногенно безпечні й останнім часом все частіше використовуються в ремонтному виробництві.

5. Резервом збільшення товщини зміцненого шару при ЕІЛ, можуть бути комбіновані електроіскрові покриття (КЕІП), сформовані електродами-інструментами з м'яких антифрикційних і твердих зносостійких металів.

6. При використанні механізованих установок ЕІЛ на тілах обертання товщина отриманих поверхневих шарів значно більше, ніж на плоских і криволінійних поверхнях.

7. Прикріплення сегментів на зношені ділянки гвинтових поверхонь шнека, здійснюють різними екологічно й техногенно небезпечними видами зварювання.

8. За матеріалами розділу опубліковані наступні роботи [58].

1.9 Мета роботи і завдання досліджень:

Метою роботи є удосконалення технології виготовлення і ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, призначених для очищення побутових та виробничих стічних вод, шляхом формування на їх поверхнях, що зношуються, захисних покриттів, сформованих за рахунок використання екологічно та техногенно безпечних технологій: ЕІЛ, нанесення МПМ, ППД та ін.

Для досягнення поставленої **мети** необхідно вирішити наступні завдання:

1. Вибрати екологічно й техногенно безпечні технології виготовлення й ремонту витків і посадкових місць під підшипники кочення шнека.

2. Провести дослідження, спрямовані на збільшення товщини шару, сформованого методом ЕІЛ на установках з ручним вібратором.

3. Провести дослідження, спрямовані на створення товстошарових покриттів на плоских і криволінійних поверхнях сформованих механізованими установками ЕІЛ, товщина яких порівняна з покриттями, формованими на поверхнях деталей тіл обертання.

4. Удосконалити екологічно й техногенно безпечну комбіновану технологію відновлення зношених посадкових поверхонь деталей ЕІЛ + МПМ шляхом армування МПМ і таким чином, підвищення його твердості й міцності.

5. Створити екологічно й техногенно безпечний спосіб прикріплення сегментів на зношені ділянки гвинтових поверхонь шнека.

6. Розробити екологічно й техногенно безпечний спосіб збільшення товщини зміцненого шару при ЕІЛ, за рахунок нанесення КЕП, сформованих методом ЦЕІЛ і легуванням за допомогою електродів-інструментів з м'яких антифрикційних і твердих зносостійких металів.

7. Провести дослідження зразків виготовлених з матеріалу, який використовують для виготовлення шнеків, з різними захисними покриттями на гідро абразивний знос.

8. Розробити технологічні рекомендації екологічно й техногенно безпечного виготовлення й ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ і впровадити результати досліджень у виробництво.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СИСТЕМИ НАПРАВЛЕНОГО ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ ШНЕКІВ

2.1 Аналіз критеріїв та показників, що використовуються при комплексній оцінці екологічної безпеки виробничих процесів

Вибір показників та критеріїв оцінки екологічної ситуації є важливим і складним питанням, спрямованим на оптимальне управління екологічними, економічними та соціальними процесами.

Визначення показників та критеріїв оцінки екологічної безпеки промислових підприємств зазвичай базується на вибіркових підходах через відмінності у категоріях небезпек та режимах управління виробництвом, специфіку забруднення, рівень екологічного контролю, ступінь дотримання застосованих захисних заходів до стану природного середовища [122].

Аналіз цих положень свідчить про наступне. Небезпечні виробничі потужності можуть класифікуватися за типом, кількістю видів обмеженої маси небезпечних речовин в обігу тощо.

Згідно з [123] показники оцінки виробничих процесів за класифікацією можуть бути об'єднані в кілька груп:

- за властивостями – економічні, екологічні та показники безпеки;
- по способу вираження – ті, які виражаються розмірними одиницями, безрозмірні, вартісні;
- за кількістю визначених характеристик – поодинокі, складні;
- за застосуванням – базові, відносні;
- за стадією визначення – проектні, виробничі, експлуатаційні.

Економічні показники характеризують загальну вартість природних ресурсів, що використовуються у виробництві, вартість природних ресурсів на одиницю продукції, розмір вартості забруднення природного середовища

викидами, стоками, відходами тощо, витрати на природоохоронні заходи та відшкодування збитків.

Екологічні показники характеризують рівень шкідливого впливу на навколишнє середовище в результаті вивезення природних ресурсів і забруднення навколишнього середовища викидами, стоками, відходами. Екологічні показники також включають кількість і концентрацію шкідливих речовин у викидах, стоках і відходах, а також ймовірність аварійних викидів, стоків, відходів при функціонуванні виробництва.

Кількісні, вартісні та відносні показники використання природних ресурсів та забруднення природного середовища можна визначити рівняннями матеріального та енергетичного балансів.

Відносні виробничі показники для оцінки забруднення навколишнього середовища визначаються за формулами:

$$k_{к.р} = \frac{m_{к.р}}{m_{ci}}; k_{вук} = \frac{m_{вук}}{m_{ci}}; k_{см} = \frac{m_{см}}{m_{ci}}; k_{відх} = \frac{m_{відх}}{m_{ci}}$$

де $k_{к.р}, k_{вук}, k_{см}, k_{відх}$ - коефіцієнти відповідно корисного використання природних ресурсів, забруднення атмосфери, водних басейнів, ґрунтів;

$m_{к.р}, m_{вук}, m_{см}, m_{відх}$ - кількість природних ресурсів, що використовуються при виробництві певного виду продукції, маса природних ресурсів, що перейшли відповідно у викиди, стоки і відходи.

За масою природних ресурсів, які переходять в готову продукцію, оцінюється екологічність технології виробництва (безвідходне, маловідходне, відкрите).

Викиди, стоки, відходи повинні бути очищені з одночасним видаленням корисних речовин, які можуть бути використані для виробництва нової продукції. Ступінь очищення викидів, стоків і відходів від шкідливих речовин характеризує чистоту, екологічність технологічного процесу і підприємства.

Чистоту виробничих процесів можна оцінити за допомогою безрозмірних коефіцієнтів:

$$k_{\text{ч}}^{\text{вик}} = \frac{m_{\text{вид}}^{\text{вик}}}{m_{\text{вик}}}, k_{\text{ч}}^{\text{ст}} = \frac{m_{\text{вид}}^{\text{ст}}}{m_{\text{ст}}}, k_{\text{ч}}^{\text{відх}} = \frac{m_{\text{вид}}^{\text{відх}}}{m_{\text{відх}}}.$$

За значеннями коефіцієнтів чистоти технологічні процеси класифікуються наступним чином: $k_{\text{ч}} = 1$ - ізольовані відносно атмосфери, водних басейнів, ґрунтів; $k_{\text{ч}} = 0,9 - 1$ - чисті; $k_{\text{ч}} = 0,5 - 0,9$ - напівчисті; $k_{\text{ч}} = 0,5$ - брудні.

Матеріалоємність продукції оцінюється наступним коефіцієнтом:

$$k_{\text{м}} = \frac{m_{\text{м.с}}}{m_{\text{ет}}} \rightarrow \min$$

де $m_{\text{м.с}}$ - матеріалоємність продукції, що випускається;

$m_{\text{ет}}$ - матеріалоємність еталонного зразка продукції, виробленої за сучасними технологіями.

Більш повний показник питомої металоемності, що враховує продуктивність виробу, термін його служби, витрати матеріалів на виготовлення та запасні частини на протязі строку експлуатації:

$$m_{\text{ншт}} = \frac{m_{\text{вшт}} + m_{\text{з.ч}}}{N \cdot T},$$

де $m_{\text{вшт}}$ - витрата матеріалів для виготовлення виробу;

$m_{\text{з.ч.}}$ - витрата матеріалів на запчастини протягом життя виробу;

N - продуктивність виробу;

T - термін служби виробу.

На показник технологічних процесів впливає рівень використання відходів виробництва $k_{\text{відх}}$:

$$k_{\text{відх}} = \frac{M_{\text{відх}}^{\text{вик}}}{M_{\text{відх}}}$$

де $M_{\text{відх}}^{\text{вик}}$ - маса відходів, що використовуються при виробництві не основної продукції;

$M_{відх}$ - загальна маса відходів, що генеруються при виробництві основної продукції.

Енергоємність продукції можна оцінити за двома показниками

$$E_{num} = \frac{E_{заг}}{n} \rightarrow \min \text{ та } k_{eo} = \frac{E_i}{E_{em}}$$

де E_{num} - загальна кількість енергії, яка використовується у виробництві;

n - кількість одиниць виготовленої продукції;

E_i - кількість енергії, яка необхідна для виготовлення i -й продукції;

E_{em} - кількість енергії, яка використовується для виробництва продукції на сучасних підприємствах.

Для еколого-економічної оцінки окремих видів галузей промисловості та підприємств в цілому використовуються наступні показники:

1) коефіцієнт суспільної корисності виробництва продукції

$$k_{сусп}^n = \frac{Q_{кор} - P_{кор}}{З_{вир}} \rightarrow \max$$

де $Q_{кор}$ - корисний ефект функціонування підприємства для суспільства;

$P_{кор}$ - негативний вплив роботи підприємства на природне середовище;

$З_{вир}$ - витрати на виробництво та запобігання негативному впливу на навколишнє середовище;

2) коефіцієнт суспільної корисності експлуатації виробів, вироблених підприємством

$$k_{сусп}^e = \frac{Q_e - P_e}{З_e} \rightarrow \max$$

де Q_e, P_e - відповідно корисний і негативний вплив через роботу виробів;

$З_e$ - вартість експлуатації та запобігання негативного впливу на навколишнє середовище;

3) коефіцієнти негативного впливу об'єктів на навколишнє середовище

$$k_{нез}^n = \frac{P_{кор}}{Q_{кор}} \rightarrow \min, \text{ або } k_{нез}^e = \frac{P_e}{Q_e} \rightarrow \min, \text{ або } k_{нез\Gamma} = \frac{P_{кор} + P_e}{Q_{кор} + Q_e} \rightarrow \min$$

4) коефіцієнт ресурсоемності виробництва

$$k_p^n = \frac{R_n}{Q_{кор}} \rightarrow \min, \text{ або } k_p^n = \frac{R_n}{Q_e} \rightarrow \min, \text{ або } k_p = \frac{R_n + R_e}{Q_{кор} + Q_e} \rightarrow \min$$

де R_n, R_e - кількість природних ресурсів, що використовуються для виробництва та експлуатації продукції;

5) узагальнений коефіцієнт екологічної та економічної оцінки виробництва продукції та її експлуатації

$$k_{ee}^n = \frac{(Q_{кор} - Q_e) - (P_{кор} - P_e)}{R_n + R_e} \rightarrow \max, \text{ або } k_{ee}^n = \frac{Q_n - P_n}{R_n} \rightarrow \max,$$

$$\text{або } k_{ee}^n = \frac{Q_e - P_e}{R_e} \rightarrow \max.$$

Наведені вище показники розраховуються за видами продукції підприємства.

Іншими показниками еколого-економічної оцінки процесів і виробництв є показники, засновані на функції бажаності. Необхідність введення функцій бажаності часто визначається різними вимірами змінних, які складають інтегральний показник, що не дозволяє їх усереднювати. Переклад в єдину числову шкалу знімає цю складність і дає можливість об'єднати різні параметри в один показник. Конкретні способи реалізації функції бажаності можуть бути дуже різноманітними: експертні функції бажаності, прості аналітичні функції бажаності, функція бажаності Харрінгтона і т.д. [124, 125].

2.2 Формалізована модель оцінки екологічної безпеки виробничих процесів з використанням функція Харрінгтона

Передумовою для створення даної методики оцінки стала відсутність зручного підходу для обробки обчислених експертних значень метрик. Значення кожної експертної оцінки екологічної безпеки окремого виробничого процесу перетворюється в безрозмірну шкалу бажаності d , яка також називається шкалою бажаності Харрінгтона. Таким чином, фізичний параметр, яким є метрика (кількісна характеристика екологічно небезпечних факторів у виробництві), перетворюється в психологічну величину, яка представляє собою числове вираження емпіричної оцінки даної метрики [124]. Воно відображає думку експерта і знаходиться в інтервалі від нуля до одиниці. Нульове значення відповідає абсолютно неприйнятному рівню даної властивості, одиничне - найкращому. Співвідношення між значеннями шкали бажаності в емпіричній і числовій (психологічній) системах і представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Зв'язок між кількісними значеннями безрозмірної шкали і психологічним сприйняттям людини

Бажаність	Відмітка на шкалі бажаності
Дуже добре	1,00 – 0,80
Добре	0,80 – 0,63
Задовільно	0,63 – 0,37
Погано	0,37 – 0,20
Дуже погано	0,20 – 0,00

Вибір відміток на шкалі бажаності 0,63 і 0,37 продиктований зручністю обчислень: $0,63 \approx 1 - (1/e)$, $0,37 \approx 1/e$. Значення $d_i = 0,37$ відповідає кордону допустимих значень.

Такий підхід передбачає вибір функції, яка задає розглянуте перетворення, - *функції бажаності Харрінгтона*. Вона може обчислюватися за формулою [126]:

$$d = \exp[-\exp(-y)],$$

де d - значення на шкалі бажаності,

y - вихідне значення метрики.

Для розрахунку кількісної оцінки екологічної безпеки виробничих процесів використовують узагальнену функцію бажаності Харрінгтона-Менчера [125]:

$$D = \sum_{k=1}^n a_k \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n D_k^{a_k}},$$

де D_k - узагальнена функція бажаності по екологічній безпеці для k -го, виробничого процесу, що має вагу a_k ;

n - загальна кількість технологічних процесів у виробництві.

В свою чергу, кожен технологічний процес, з точки зору екологічної безпеки, може бути представлена у вигляді функції:

$$D_k = \sum_{i=1}^m a_i \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i^{a_i}}, \quad (2.1)$$

де d_i - часткова функція бажаності екологічної безпеки i -ї операції технологічного процесу, що має вагу a_i ;

m - кількість операцій в даному технологічному процесі.

Розрахунок проводиться в два етапи.

На першому етапі визначаються поодинокі значення функції d_i ($i = 1, 2, \dots, m$) для будь-якої кількості відгуків, кожен з яких повинен представляти безперервну монотонну функцію. Для випадку зростання якості зі зростанням числових значень відгуку запропоновані 3 типи залежностей (типи 1, 2 і 3 на рис. 2.1) [127]. При цьому у всіх випадках в якості аргументу виступає відгук Y в своєму натуральному вигляді - так, як він вимірювався під час експерименту, це велика перевага для методу розрахунку.

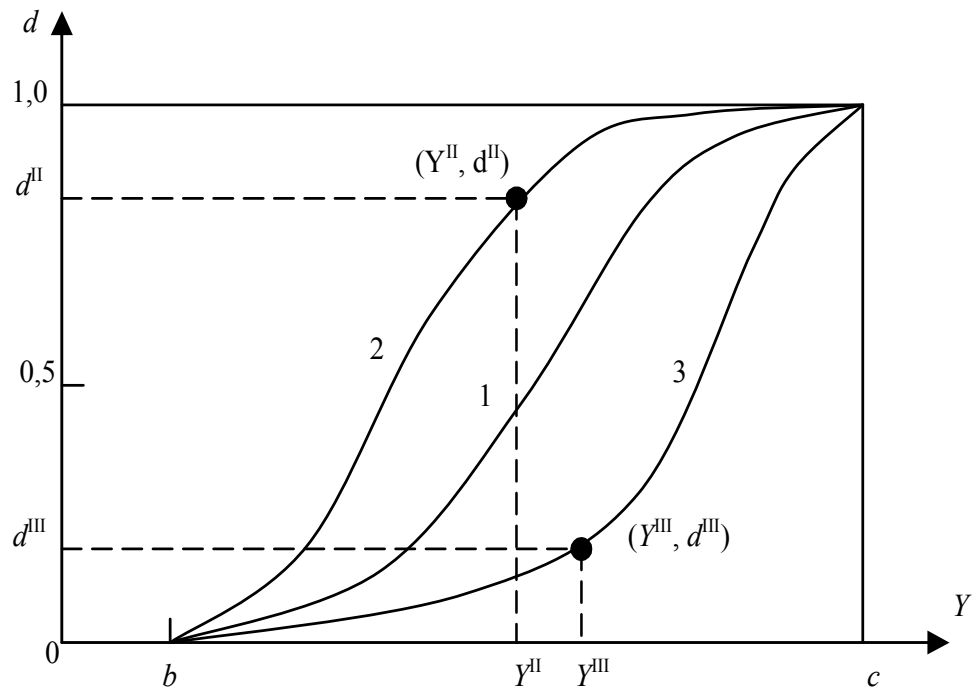


Рисунок 2.1 - Графіки функцій бажаності трьох зростаючих типів

Для всіх трьох типів зростаючих кривих визначальним є правильне призначення початку b і кінця c фізичного (або допустимого) значення відгуку Y , тобто повинна дотримуватися умова:

$$d = \begin{cases} 0, & \text{если } Y < b; \\ d, & \text{если } b \leq Y \leq c; \\ 1, & \text{если } Y > c. \end{cases}$$

Після розрахунку показників, розраховується узагальнена функція екологічної безпеки для кожної операції технологічного процесу (за формулою 2.1). Особливістю цього розрахунку є попереднє перебування для кожного приватного показника d_i його ваги a_i . Для визначення ваги окремих показників якості a_i використовується метод вагових коефіцієнтів важливості [128].

Задача, пов'язана з формуванням захисних покриттів на робочих поверхнях шнеків є інваріантною, тобто реалізованою безліччю технологічних методів. Кожен набір методів має свою трудомісткість реалізації (технологічну собівартість). Крім цього кожен набір методів має свою

ступінь впливу на навколишнє середовище і людину (екологічну безпеку процесу). Тому в процедурі спрямованого вибору оптимального способу потрібно враховувати ці два фактори.

Розглянемо економічну площину питання. На рис. 2.2 представлена мережева модель вибору технологій, які можна реалізувати n методами на кожному з m етапів реалізації. Вузли мережі є методами, відрізки шляху відповідають витратам на реалізацію кожного методу.

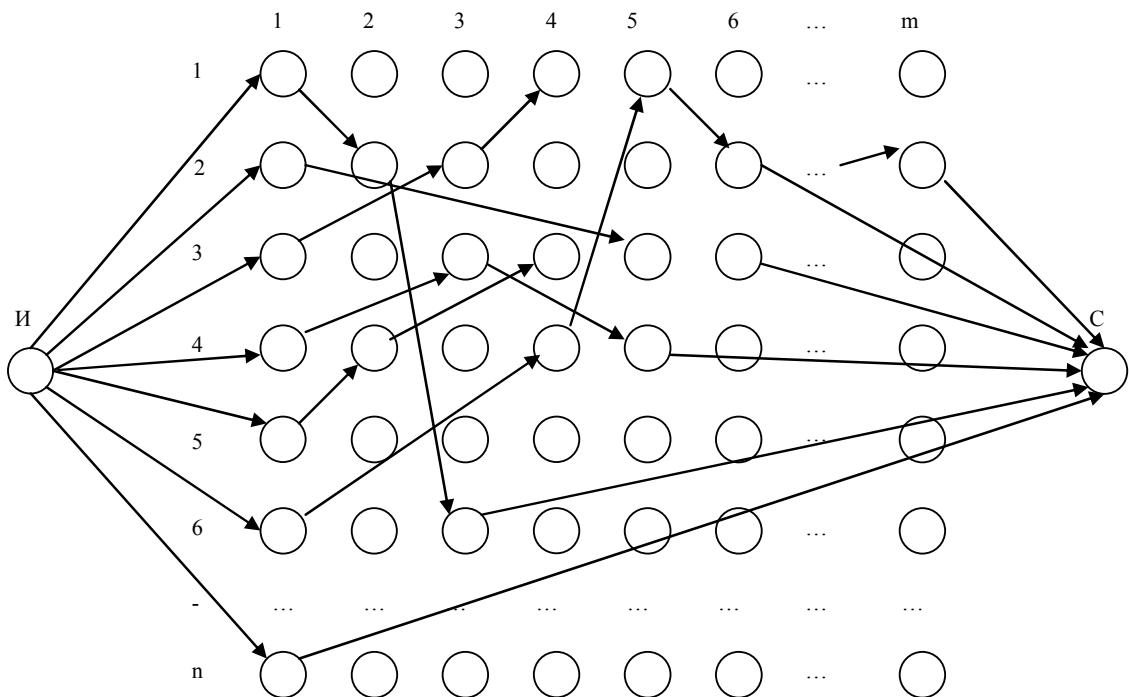


Рисунок 2.2 - Мережева модель вибору технологій

Спрямований вибір необхідної технології полягає у визначенні найкоротшого шляху в даній мережевої моделі.

Якщо в якості вагової функції (ω) прийняти технологічну собівартість, яка відображатиме ваги на відрізках мережі, то весь шлях $p = \langle v_0, v_1, \dots, v_k \rangle$ буде дорівнювати сумі ребер, що входять до нього:

$$\omega(p) = \sum_{i=1}^k \omega(v_{i-1}, v_i)$$

В даному випадку вага найкоротшого шляху з витоку I в сток C буде визначатися співвідношенням:

Таким чином найкоротшим буде шлях, вага якого задовольняє співвідношенню:

$$\omega(p) = \delta(I, C)$$

Оптимізаційна задача вирішується методом лінійного програмування.

При цьому критерій оптимізації буде:

$$\omega = f(\alpha, \lambda),$$

де α – керований параметр, який залежить від методу (енергія розряду, подача, частота обертання шпинделя і т.д.);

λ – набір технологічних обмежень таких як: шорсткість поверхні; глибина зміцненого шару; мікротвердість робочої поверхні і т.п.

Для вирішення завдання пошуку оптимального варіанта технології з урахуванням показників екологічної безпеки процесу можна скористатися тією ж мережевий моделлю (рис. 2.2). Однак в якості вагової функції (χ) буде виступати інтегральний коефіцієнт екологічної безпеки представлений узагальненою функцією бажаності Харрінгтона (2.1), що має діапазон від 0 до 1. Де «1» відповідає максимальному рівню екологічної безпеки процесу а «0» максимальному рівню небезпеки. Якщо в якості вагової функції (χ) прийняти екологічну безпеку процесу, що відображає ваги на відрізках мережі, то весь шлях $p = \langle \eta_0, \eta_1, \dots, \eta_k \rangle$ буде дорівнювати сумі ребер, що входять до нього:

$$\chi(p) = \sum_{i=1}^k \chi(\eta_{i-1}, \eta_i)$$

У цьому випадку вага найдовшого шляху з витоку I в сток C буде визначатися співвідношенням:

Найдовшим буде шлях, вага якого задовольняє співвідношенню:

$$\chi(p) = \beta(I, C)$$

Задачу пошуку оптимального варіанта необхідно вирішити в комплексі, враховуючи вплив як економічної так і екологічної складової. Для наочності на рис. 2.3 представлена процедура визначення комплексної оцінки.

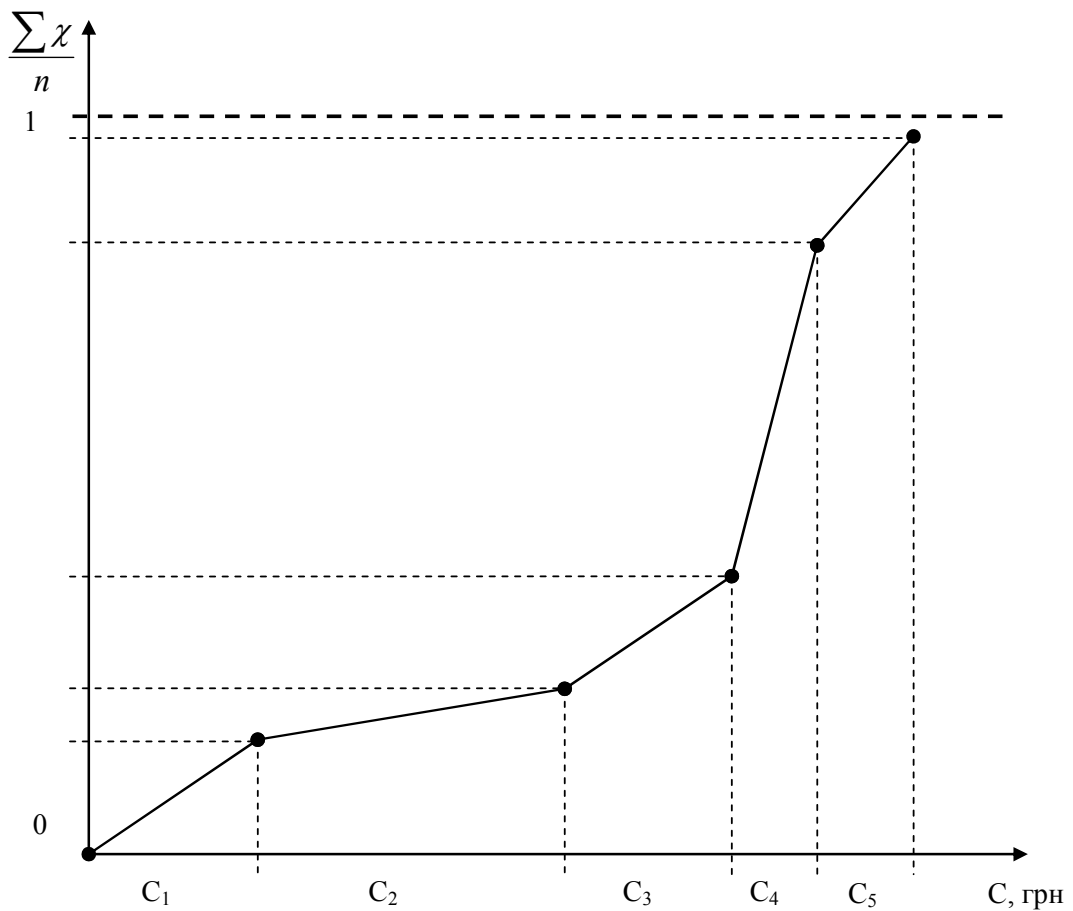


Рисунок 2.3 - Сукупний вплив економічних і екологічних факторів на вибір оптимального варіанта технології

Графік ілюструє рішення задачі п'ятьма етапами з відповідною трудомісткістю ($C_1 \dots C_5$), відкладених на осі абсцис і вплив цих етапів на екологічну безпеку процесу, представлену питомим значенням узагальненої функції бажаності Харрінгтона, приведеної до кількості етапів реалізації завдання ($n = 5$). Таким чином, відкладаючи на графіку різні варіанти

технологій з різною кількістю етапів їх реалізацій з різною технологічною собівартістю, і різним ступенем впливу на екологічну безпеку процесу, можна графічно визначити яка з них буде мати найменшу собівартість, і яка буде володіти найбільшою екологічною безпекою реалізації. Як приклад на рис. 2.4 наведені графіки трьох технологій, що мають різну кількість етапів реалізації, що володіють різною собівартістю, і ступенем екологічної безпеки процесу. В даному прикладі технологія під номером «3» має переваги перед двома іншими як за собівартістю, так і за рівнем екологічної безпеки.

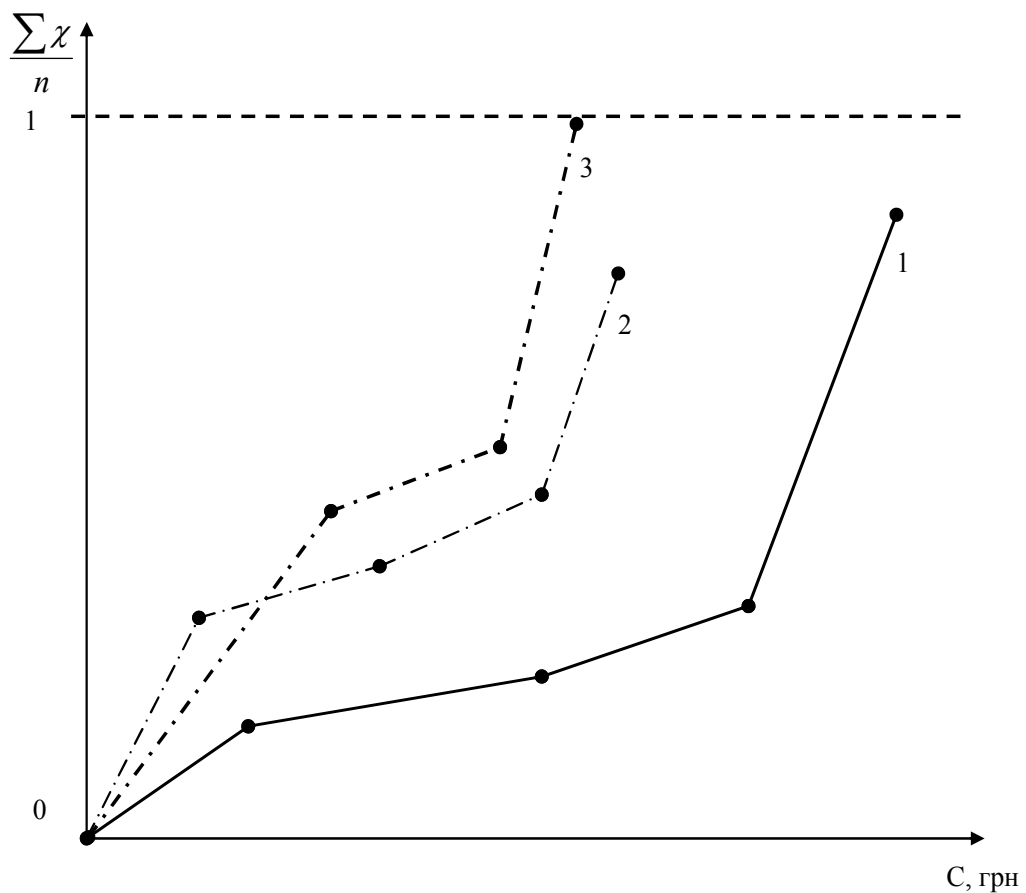


Рисунок 2.4 - Графічна інтерпретація процедури вибору оптимального варіанта технології

Для адекватної оцінки варіанта технології необхідно провести моделювання процесу її спрямованого вибору. Технічно задача може бути реалізована, якщо виконується така умова:

$$(\exists \psi \in \Theta) R(\psi) = \bigcap_{\zeta=l}^m \Omega^{\zeta} \{S_i\} \vee (\exists \phi \in \Phi) M(\phi) \vee$$

$$\vee (\exists \xi \in \Theta) E(\xi) \vee (\exists \tau \in \gamma) T(\tau),$$

де $(\exists \psi \in \Theta) R(\psi)$ – квантор існування (існує хоча б один варіант вирішення завдання;

$\bigcap_{\zeta=1}^m \Omega^\zeta \{S_i\}$ – сукупність етапів розв'язання задачі;

$(\exists \phi \in \Phi) M(\phi)$ – існування хоча б одного методу розв'язання задачі на кожному етапі;

$(\exists \xi \in \Theta) E(\xi)$ – наявність технологічного обладнання, здатного реалізувати методи;

$(\exists \tau \in \gamma) T(\tau)$ – наявність необхідних технологічних режимів під обладнання.

Умовою включення варіанту вирішення задачі в безліч допустимих варіантів буде його здатність забезпечити заданий рівень якості процесу:

$$(\forall \zeta \in \Xi) R(\zeta) = \{R \mid q_R^{\max} \leq q_R \leq q_R^{\max}\},$$

тобто для всіх існуючих варіантів рішення задачі (квантор загальності) закладені критерії за якістю процесу повинні знаходитися в області допустимих значень $q_R^{\max} \leq q_R \leq q_R^{\max}$.

В цьому випадку з технологічних собівартостей варіантів вирішення завдання, що задовольняє необхідній та достатній умові формується множина згідно виразу:

$$\{C_R\} = \bigcup_{k \in X} \left\{ C_R(k) \left| \begin{array}{l} (\exists \psi \in \Theta) R(\psi) = \bigcap_{\zeta=1}^m \Omega^\zeta \{S_i\} \vee (\exists \phi \in \Phi) M(\phi) \vee \\ (\exists \xi \in \Theta) E(\xi) \vee (\exists \tau \in \gamma) T(\tau), \\ (\forall \zeta \in \Xi) R(\zeta) = \{R \mid q_R^{\max} \leq q_R \leq q_R^{\max}\} \end{array} \right. \right\}$$

Крім цього, при включенні варіанту в безліч розглянутих, буде перевірятися умова його відповідності вимогам екологічної безпеки процесу

за величиною функції бажаності Харрінгтона, що відбиває рівень екологічної безпеки технології:

$$(\forall \varepsilon \in E)R(\varepsilon) = \{R \mid 0 \leq \chi_R \leq I\},$$

де для всіх існуючих варіантів реалізації технології закладені критерії, щодо екологічної безпеки, повинні знаходитися в межах: $0 \leq \chi_R \leq I$. Тому остаточні вимоги до безлічі допустимих рішень будуть:

$$\{C_R\} = \bigcup_{k \in X} \left\{ C_R(k) \vee (\exists \xi \in \Theta)E(\xi) \vee (\exists \tau \in \gamma)T(\tau), \right. \\ \left. \begin{array}{l} (\exists \psi \in \Theta)R(\psi) = \bigcap_{\zeta=1}^m \Omega^\zeta \{S_i\} \vee (\exists \phi \in \Phi)M(\phi) \vee \\ (\forall \zeta \in \Xi)R(\zeta) = \{R \mid q_R^{\max} \leq q_R \leq q_R^{\max}\}, \\ (\forall \varepsilon \in E)R(\varepsilon) = \{R \mid 0 \leq \chi_R \leq I\} \end{array} \right\}$$

Тоді двухкритеріальна оптимізаційна задача з економічних і екологічних критеріїв представляється виразом:

$$R^{opt} = \lim_{\substack{C_{mex} \rightarrow \min \\ \chi_\varepsilon \rightarrow \max}} R \left| \begin{array}{l} C_{mex} \in \{C_R\} \\ \chi_\varepsilon \in \{\chi_R\}; 0 \leq \chi_R \leq I \end{array} \right.$$

Результатом спрямованого вибору технології буде її раціональний варіант, який має найвищий інтегральний показник за шкалою Харрінгтона і при цьому володіє мінімальною технологічною собівартістю реалізації.

Практичне застосування даної методики можна проілюструвати, зв'язавши екологічну безпеку процесу очищення стоків з інтенсивністю зносу обладнання. Представивши наростання екологічної небезпеки через величину $(I-D)$, де D - узагальнена функція бажаності Харрінгтона, можна пов'язати залежність зміни надійності обладнання від часу [129] з показниками екологічної безпеки процесу (рис. 2.5).

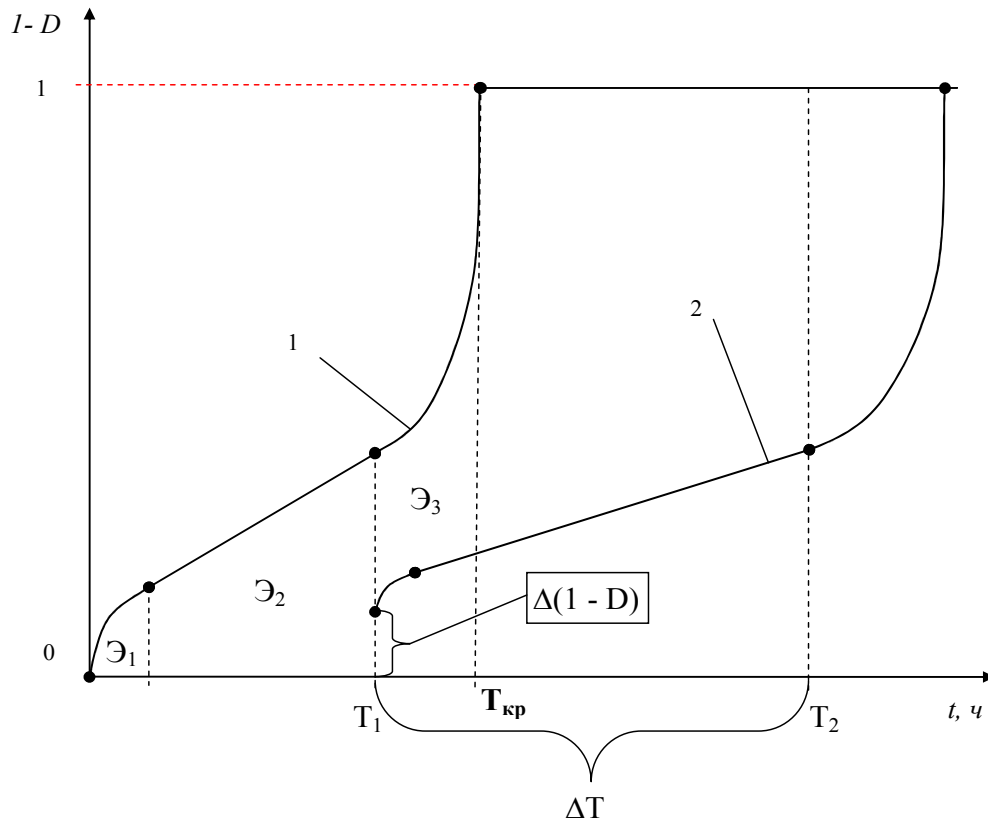


Рисунок 2.5 - Схема наростання екологічної небезпеки в системі очищення стоків від часу експлуатації центрифуги (ступеня зносу шнека): 1 - крива зміни інтенсивності зносу шнека нової центрифуги; 2 - крива зміни інтенсивності зносу шнека центрифуги після ремонту

На рис. 2.5 етапи припрацювання, нормальної експлуатації та інтенсивного зносу позначені відповідно: \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 , \mathcal{E}_3 . Зміна ступеня екологічної небезпеки від часу експлуатації центрифуги представлено показником $(1 - D)$. При досягненні часу T_1 ступінь зносу шнека центрифуги призводить до інтенсивного наростання екологічної небезпеки (\mathcal{E}_3), яка в певний момент часу досягає критичного значення $T_{кр}$. І якщо не прийняти заходів по відновленню працездатності центрифуги ефективність очищення стічних вод за інтегральним показником функції бажаності Харрінгтона буде дорівнює «0». Проведення ремонтних впливів дозволяє змістити цю подію в часі (ΔT). При цьому ступінь впливу на екологічну безпеку процесу і тривалість етапу нормальної експлуатації відновленої центрифуги залежить

від ефективності застосованих технологій за екологічними показниками і показниками якості ремонту.

Приріст $\Delta(1-D)$ показує екологічну чистоту технологічних операцій ремонту шнека. Застосування екологічно чистих «зелених» технологій в ремонтному виробництві прагне звести дане збільшення до «0». Розроблена система спрямованого вибору дозволяє виконати пошук і здійснити раціональний вибір технологій, що відповідають даним критеріям і мінімізованих за собівартістю їх реалізації на конкретному підприємстві.

2.3 Спрямований вибір найбільш ефективної технології захисту шнеків машин, задіяних в переробці і утилізації гною і центрифуг з очищення стічних вод

Аналіз факторів, що впливають на знос поверхонь лопатей шнека

В процесі роботи, при транспортуванні гною, лопаті шнека і стінки жолоба піддаються різним видам зносу: абразивного, окислювальному, корозійного, механічному, кавітаційного та ін. Для зниження тертя в механізмі передбачають зазор приблизно 6-10 мм між стінкою жолоба і гвинтом.

Аналогічний механізм зносу лопатей шнека в центрифугах типу ОГШ, призначених для очищення стічних вод. Тут лопаті шнека піддаються таким же видам зносу і зношуються в результаті контакту з рухомою масою мулу.

Для збільшення тривалості експлуатації шнеків їх лопаті зміцнюють різними способами, шляхом формування на їх периферійних ділянках, що піддаються найбільш значного зносу, покриттів з зносостійких матеріалів [132-135].

Незважаючи на це, в процесі експлуатації шнеків, призначених для видалення гною і центрифуг, для очищення стічних вод, виникає необхідність у визначенні міжремонтного пробігу, тобто часу до їх катастрофічного зносу, коли шнек необхідно піддати черговим

відновлювальним роботам.

На рис. 2.6 показана залежність вагового зносу Δm сталевих зразків, зміцненого методом ЕІЛ за різними технологіями (1, 2 і 3), що переміщається в середовищі, схожій за складом з рідким шламом, від енергії витраченої на тертя E_p . При цьому зносостійкість зразка №1 (U_1) вище, ніж у зразка №2, а у зразка №3, зносостійкість (U_3) менше, ніж у зразка №2.

Метод ЕІЛ обраний для зміцнення зразків, як найбільш екологічно безпечний, енергоефективний і економічно доцільний (див. розд. 1).

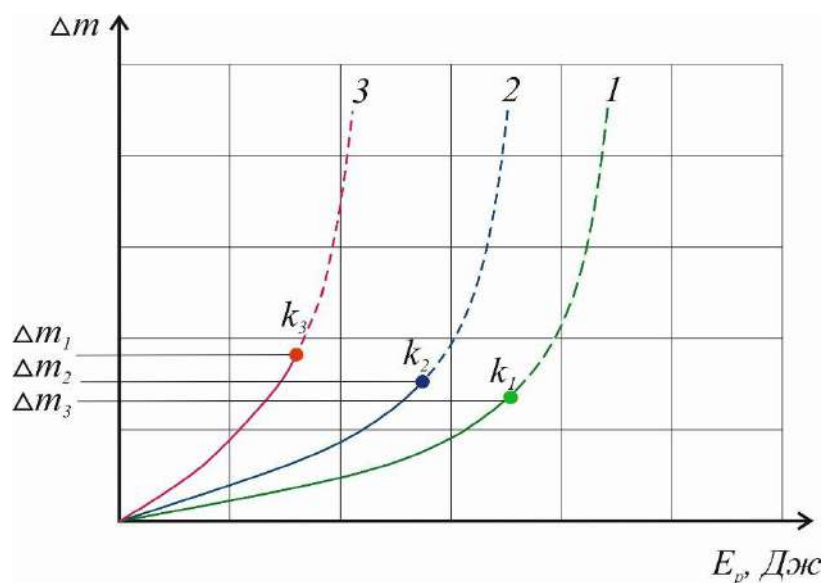


Рисунок 2.6 – Кореляційна залежність вагового зносу Δm сталевих зразків від енергії, витраченої на тертя E_p , причому ($U_1 > U_2 > U_3$)

В результаті аналізу рис. 2.6 встановлено, що зі збільшенням енергії, витраченої на подолання тертя при роботі шнека, знос, за рівні проміжки часу постійно збільшується. Це пов'язано з тим, що твердість зміцненого шару або нанесеного методом ЕІЛ покриття, у міру поглиблення з поверхні знижується. Коли зміцнений поверхневий шар або покриття зношуються повністю (точки k_1 , k_2 і k_3), то починає зношуватися основа, що представляє собою матеріал лопатей, твердість і зносостійкість якого менше і знос різко зростає, настає катастрофічне зношування (пунктирна лінія на рис. 2.6).

При роботі шнеків машин, призначених для видалення гною або центрифуг, для очищення стічних вод, коли на лопатях повністю зношується захисне покриття або зміцнений поверхневий шар, знижується їх к.к.д.

Наприклад, в центрифугах для очищення стічної води зменшується кількість відділення осаду, знижується якість очищення води і значно збільшується складність і вартість ремонту шнека.

Таким чином, інженерно технічним працівникам ремонтних служб необхідно знати час настання повного зносу зміцненого шару або нанесеного покриття на периферійних ділянках лопатей, для зупинки обладнання і проведення ремонтних робіт для відновлення шнека.

Критерії показників якості поверхні лопатей шнека, що піддаються зносу

У вигляді показників якості поверхонь, що зношуються в процесі роботи деталей, в залежності від умов їх експлуатації, можуть бути використані різні критерії. Це: граничне навантаження, час або число циклів навантаження до утворення дефектів, межі плинності і повзучості, тимчасовий опір, критичні деформації, твердість поверхні та ін. Ці критерії більш прийнятні до неприпустимих процесів пошкоджуваності поверхонь тертя деталей і робочих органів машин: схоплювання, контактна втома, фретінг-корозія, корозійно-механічні процеси.

Нами ж розглядається процес нормального тертя і зношування та заходи, щодо розширення його діапазону і зниження рівня.

Нормальні процеси визначають ресурс роботи машин - їх довговічність, продуктивність і економічність.

Закономірності перетворення енергії із зовнішньої механічної в внутрішню енергію процесів, що відбуваються в тілі, визначаються структурним станом матеріалів і фізико-хімічною дією мастильних середовищ.

При оцінці зносостійкості матеріалів основними, на наш погляд,

повинні бути енергетичні критерії. Перевага енергетичного підходу полягає в можливості інтегрального опису за допомогою енергетичних критеріїв впливу численних параметрів, від яких залежать процеси тертя і зносу.

Так як великі механічні навантаження, що виникають при зовнішньому терті, призводять до різкої зміни фізико-механічних властивостей поверхневих шарів і їх докорінної трансформації (механічна енергія стимулює хімічні реакції), то за критерій зносу можна прийняти енергію активації процесу зносу.

Для отримання достовірної інформації про правильність обраного способу зміцнення поверхневого шару лопатей шнека, нам необхідна кореляційна залежність (математична модель), що зв'язує величину зносу сформованих покриттів з енергією, витраченою на тертя і енергією активації процесу зносу.

Енергія, яку необхідно затратити, щоб зруйнувати метал, визначає енергію зв'язку E_{CB} між атомами. Під впливом різних видів зносу, основними з яких є гідроабразивний і корозійний, енергія зв'язку атомів в захисному покритті лопатей шнеку знижується на величину енергії витраченої на руйнування зв'язку, тобто на енергію деформації E_D . Так як розрив зв'язку являє собою дискретну стадію активації в процесі зносу, то енергія активації процесу зносу E_A розглядається як різниця $E_{CB} - E_D$.

Зі збільшенням величини енергії, витраченої на подолання тертя (E_p), знос збільшується тим сильніше, чим більше енергія активації E_A .

Виходячи з експериментальної залежності (рис. 2.7) Δm від E_p^{-1} (спадна експонента), можна зробити висновок, що Δm пропорційна $(-E_p)^{-1}$ і величині E_A , (рис. 2.8) тобто:

$$\ln \Delta m \sim (-E_p)^{-1}, E_A \quad (2.1)$$

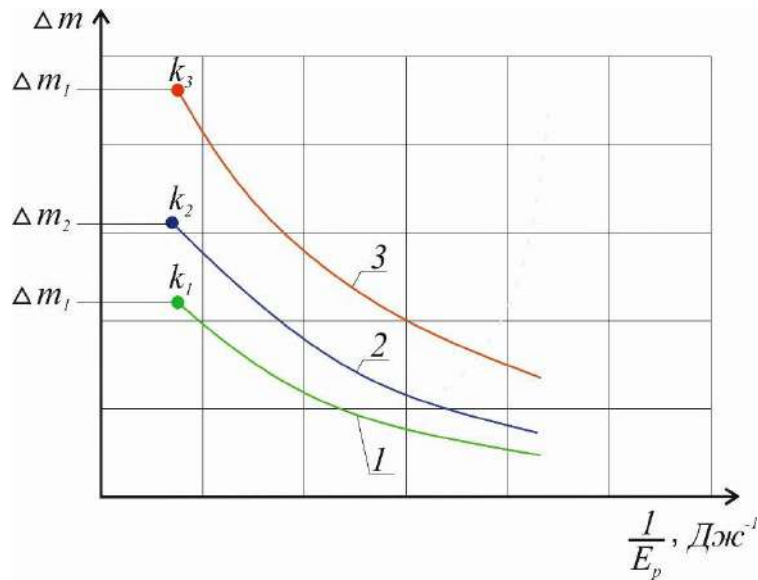


Рисунок 2.7 – Кореляційна залежність вагового зносу Δm сталевих зразків від зворотної величини енергії, витраченої на тертя $1/E_p$

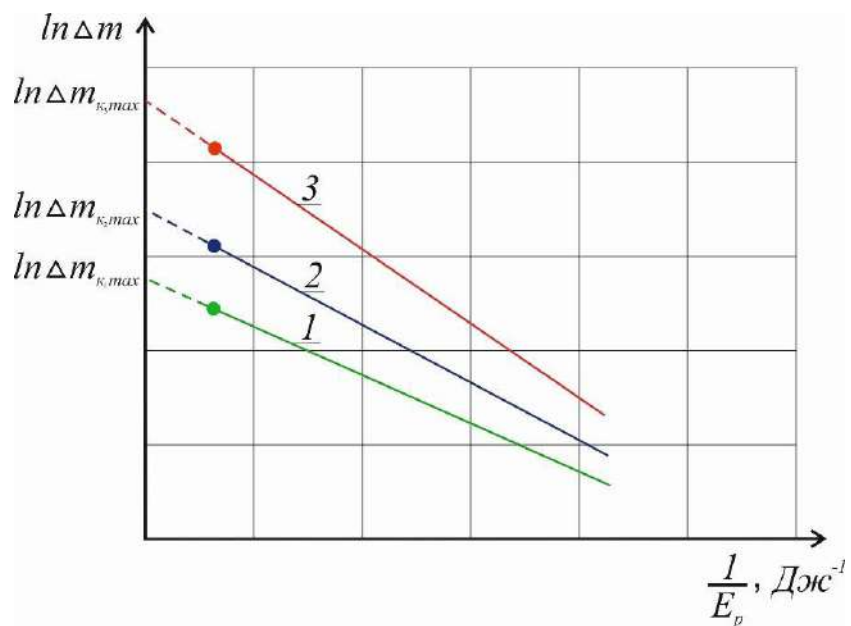


Рисунок 2.8 – Кореляційна залежність натурального логарифма вагового зносу $\ln \Delta m$ сталевих зразків від зворотної величини енергії, витраченої на тертя $1/E_p$

Переходячи від наближеної рівності до точної

$$\Delta m = C \cdot e^{\frac{-E_A}{E_p}} \quad (2.2)$$

де $C = \Delta m_H$ – знос насичення, тобто максимально допустимий знос в період сталого зношування.

Тоді

$$\Delta m = \Delta m_H \cdot e^{\frac{-E_A}{E_p}} \quad (2.3)$$

Залежність (2.3) назвемо рівнянням вагового зносу захисних електроіскрових покриттів лопатей шнека (ЕІП).

Беручи у формулі (2.3)

$$E_A = E_p, \quad (2.4)$$

маємо:

$$\frac{\Delta m}{\Delta m_H} = e^{-1} \quad (2.5)$$

Звідси E_A - це фізична величина, що дорівнює такій енергії витраченій на тертя, при якій $\Delta m = \frac{\Delta m_H}{e}$, тобто Δm в e разів менше Δm_H . Назвемо її константою зносу електроіскрових покриттів лопатей шнека. Розмірність $[E_A] = \text{Дж}$.

Для того, щоб перейти від вагового зносу до лінійного, тобто зносу, який визначає ступінь зміни розміру виробу по глибині, необхідно рівняння зносу електроіскрових покриттів лопатей шнека (2.3) записати у вигляді

$$\Delta h \cdot S \cdot r = \Delta h_H \cdot S \cdot r_H \cdot e^{\frac{-E_A}{E_p}}, \quad (2.6)$$

де S – площа зношеної поверхні,

r, r_H – відповідно щільність поверхневого шару під час сталого зношування і в період настання зносу насичення, тобто зносу на найбільшу глибину періоду сталого зношування Δh_H .

Після необхідних перетворень маємо

$$\Delta h = \Delta h_H \cdot \frac{r_H}{r} \cdot e^{\frac{-E_A}{E_p}}, \quad (2.7)$$

Залежність (2.7) назвемо рівнянням лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів (ЕІП) лопатей шнека.

Таким чином, при визначенні лінійного зносу необхідно робити поправку на зміну густини шару, що зношується.

Підставляючи в (2.7) співвідношення (2.4), маємо:

$$\Delta h = \Delta h_H \cdot \frac{r_H}{r} \cdot e^{-l} \quad (2.8)$$

Звідки

$$\frac{\Delta h \cdot r}{\Delta h_H \cdot r_H} = e^{-l} \quad (2.9)$$

що збігається з (2.5).

Отже, E_A - це фізична величина, що дорівнює такій енергії витраченій на тертя, при якій $\Delta h \cdot r$ в e разів менше $\Delta h_H \cdot r_H$. Слід зазначити, що при

$$r_H = r, \quad \frac{\Delta h}{\Delta h_H} = e^{-l}.$$

Величину енергії витраченої на тертя, необхідну для здійснення зносу певної кількості речовини (Δm_x) або для отримання необхідного лінійного зносу (Δh_x), можна визначити з рівнянь (2.3) і (2.7).

Тоді відповідно:

$$E_P = \frac{E_A}{\ln \frac{\Delta m_H}{\Delta m_x}}; \quad (2.10)$$

$$E'_P = \frac{E_A}{\ln \frac{\Delta h_H \cdot r_H}{\Delta h_x \cdot r_x}}. \quad (2.11)$$

Розробка алгоритму для визначення енергетичних критеріїв визначення якості поверхонь лопатей шнека з ЕПП

У загальному вигляді алгоритм розрахунку енергетичних критеріїв полягає в наступному:

1. Експериментально вимірюється ваговий і Δm і лінійний Δh знос при різних величинах, енергії витраченої на тертя (E_P)⁻¹.

2. Будуються графіки залежності $\ln(\Delta m)$ і $\ln(\Delta h)$ від $(E_p)^{-1}$.

3. Визначається енергія активації (константа рівнянь вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів лопатей шнека зносу E_A), як $E_A = \operatorname{tg} \alpha$, де α - кут нахилу прямих залежностей $\ln(\Delta m)$ і $\ln(\Delta h)$ від $(E_p)^{-1}$.

4. За відрізком, який відсікається на осі ординат прямою, екстрапольованою до значення абсциси $E_p^{-1} = 0$ ($\ln(\Delta m) = \ln(\Delta m_n)$ і $\ln(\Delta h) = \ln(\Delta h_n)$ при $(E_p)^{-1} \rightarrow 0$), знаходиться ваговий і лінійний знос насичення, відповідно Δm_n та Δh_n .

5. За формулами (2.10) і (2.11) визначаємо величину енергії витраченої на тертя для здійснення зносу певної кількості речовини (Δm_x) або для отримання необхідного лінійного зносу (Δh_x):

$$E_p = \frac{E_A}{\ln \frac{\Delta m_n}{\Delta m_x}} ; \quad E_p' = \frac{E_A}{\ln \frac{\Delta h_n \cdot r_n}{\Delta h_x \cdot r_x}} .$$

Використовуючи запропонований підхід до вирішення завдання визначення енергії, витраченої на тертя, з'являється можливість вирішення як прямої задачі (визначення енергії, витраченої на тертя до повного зносу зміцненого шару або нанесеного покриття), так і зворотної - визначення необхідної товщини зміцненого шару або покриття при відомій енергії, що витрачається на тертя. Це дозволяє вибирати раціональні режими експлуатації або наносити на поверхню лопатей шнека захисні покриття, що відповідають заданим режимам експлуатації.

Розробка методики проведення ремонтних робіт по відновленню зношених поверхонь лопатей шнека з ЕІП

При проведенні лабораторних випробувань зразків з матеріалу лопатей шнека, з метою визначення найбільш перспективного електроіскрового покриття, енергію, витрачену на тертя E_p , можна визначити двома способами.

1. За потужністю, що використовується для випробувань електродвигуна N_d :

$$E_p = N_d \cdot k \cdot t, \quad (2.12)$$

де k - коефіцієнт втрат в електродвигуні (0,7-0,8);

t - час випробування, сек.

2. Вимірявши лічильником електроенергії.

Визначивши константи рівнянь вагового (2.3) і лінійного (2.7) зносу захисних електроіскрових покриттів лопатей шнека: енергію активації процесу зносу E_A ; максимальний ваговий (Δm_n) і лінійний (Δh_n) знос для обраного покриття, можна в виробничих умовах визначати час зношування захисного покриття на всю глибину.

Так знаючи потужність електродвигуна шнекового транспортера (рис. 2.9) можна по (2.12) порахувати енергію, яка витрачається на тертя E_p , а потім по (2.11) визначити енергію E_p^1 , необхідну для видалення захисного покриття на товщину (Δh_x) його шару. Після цього знаючи потужність електродвигуна по (2.12) можна визначити час, коли необхідно зупинити шнековий транспортер для нанесення захисного ЕП на зношені поверхні шнека.

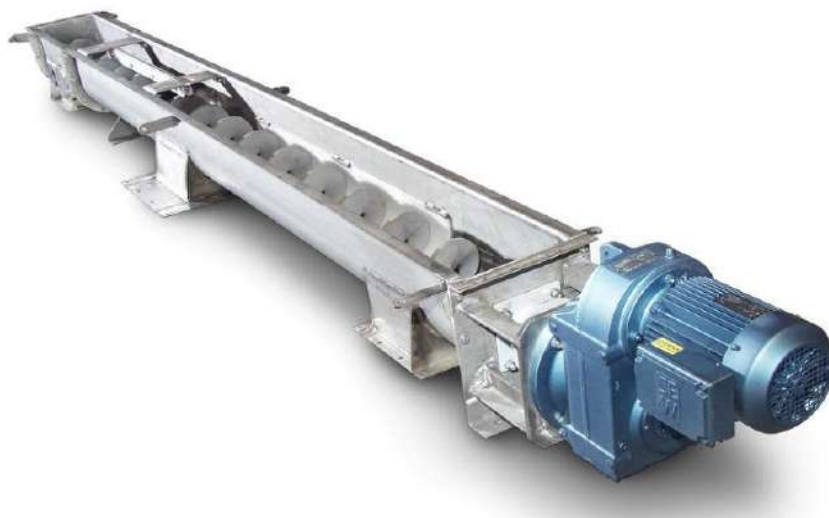


Рисунок 2. 9– Шнековий транспортер для видалення гною

Слід зазначити, що при визначенні енергії, витраченої на тертя E_p для шнекової центрифуги формула 2.12 набуде вигляду

$$E_p = N_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot t, \quad (2.13)$$

де k_1 - коефіцієнт втрат в електродвигуні (0,7-0,8);

k_2 - коефіцієнт втрат в редукторі (0,7-0,8);

t – час випробування, сек.

2.4 Висновки по розділу 2

1. На підставі теоретичних досліджень розроблена формалізована методика визначення оптимального варіанта технології ремонту шнека. При цьому кожен варіант реалізується можливими комбінаціями рішень мінімізованими з економічних і екологічних показників.

2. Розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної технології реновації відповідальних деталей технологічного обладнання, задіяного в процесі очистки стоків, яке працює з постійним навантаженням у важких умовах гідроабразивного зносу.

3. В результаті аналізу факторів, які впливають на знос ЕП поверхонь лопатей шнека встановлено, що зі збільшенням енергії, витраченої на подолання тертя при роботі шнека, знос, за рівні проміжки часу збільшується, що пов'язано зі зниженням твердості покриття в міру його поглиблення.

4. При зношуванні ЕП на повну глибину знос різко зростає і наступає катастрофічне зношування, що несе за собою зниження к.к.д. обладнання та якості роботи, зростає вартість ремонту.

5. Експериментальними дослідженнями встановлено кореляційний зв'язок вагового зносу Δm і лінійного Δh зносу сталевих зразків з ЕП від

величини енергії, витраченої на тертя E_p , які в першому наближенні нагадують експоненціально зростаючі залежності.

6. Отримано рівняння вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів лопатей шнека і запропонований алгоритм для визначення їх констант (максимального вагового зносу Δm_n , максимального лінійного зносу Δh_n і енергії активації процесу зносу E_A).

7. Запропоновано методику, що дозволяє інженерно технічним працівникам ремонтних служб визначати час повного зносу зміцненого шару або нанесеного покриття на периферійних ділянках лопатей шнека і зупинки обладнання для проведення ремонтних робіт.

8. За матеріалами розділу опубліковані наступні роботи [132-136].

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ШНЕКІВ МАШИН, ЗАДІЯНИХ В ПЕРЕРОБЦІ І УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ ТА ЦЕНТРИФУГ З ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

3.1 Особливості технології ЕІЛ при обробці поверхонь елементів шнеків

В процесі роботи, при транспортуванні гною і в центрифугах типу ОГШ, витки шнеків піддаються різним видам зносу: абразивному, окислювальному, корозійному, механічному, кавітаційному та ін.

Тому при виготовленні і ремонті шнеків основними елементами, що лімітують безперебійну роботу обладнання є витки шнека, а також посадочні місця під підшипники кочення, що зношуються під дією протікання фреттинг - процесів, що стимулюють фреттинг - корозію, результатом якої є знос контактуючих поверхонь і ослаблення посадок з натягом.

З метою зниження впливу шкідливих факторів, що викликають знос поверхонь шнеків центрифуг необхідно забезпечити захист, шляхом підвищення якості поверхневих шарів їх елементів.

Електроіскрові процеси при ЕІЛ, як правило, оцінюються за величинами ерозії аноду на катод (або приросту ваги катоду). Приріст катоду визначає продуктивність процесу, або інтенсивність росту шару покриття на катоді-деталі. Найбільш істотно впливають на ці процеси параметри розряду, властивості матеріалу електродів, матеріал підкладки, тривалість легування і інші фактори.

Коли відбувається полярне перенесення матеріалу аноду на поверхню катоду, то взаємодія матеріалів електродів здійснюється в умовах високих температур, тисків і супроводжуючих їх структурних і фазових перетворень, дифузійних процесів, термічних напружень, тобто більш складних фізичних явищ, що визначають кінцеві результати ЕІЛ.

Отже, дослідження і аналіз процесів, що відбуваються на електродах, дозволяє отримати не тільки загальну фізичну картину ЕІЛ, а й оцінити його технологічні можливості, а також знайти нові області застосування.

ЕІЛ виконувалося на установці моделі «Елітрон -52А» з ручним вібратором, призначеної для чистового і грубого легування (рис. 3.1, а). З метою виключення впливу на якість формованого поверхневого шару навичок оператора і підвищення якості поверхонь, що зміцнюються (зниження шорсткості, збільшення суцільності і т.п.) установку використовували в автоматизованому режимі.

Зміцнення проводилося на токарно-гвинторізному верстаті мод. 16К20. Вібратор установки «Елітрон -52А» кріпився в різцетримач (рис. 3.2). Підведення електроду здійснювалося механізмами верстату. Вибір режимів зміцнення (частота обертання шпинделя, подача) проводився, виходячи із заданої продуктивності процесу.

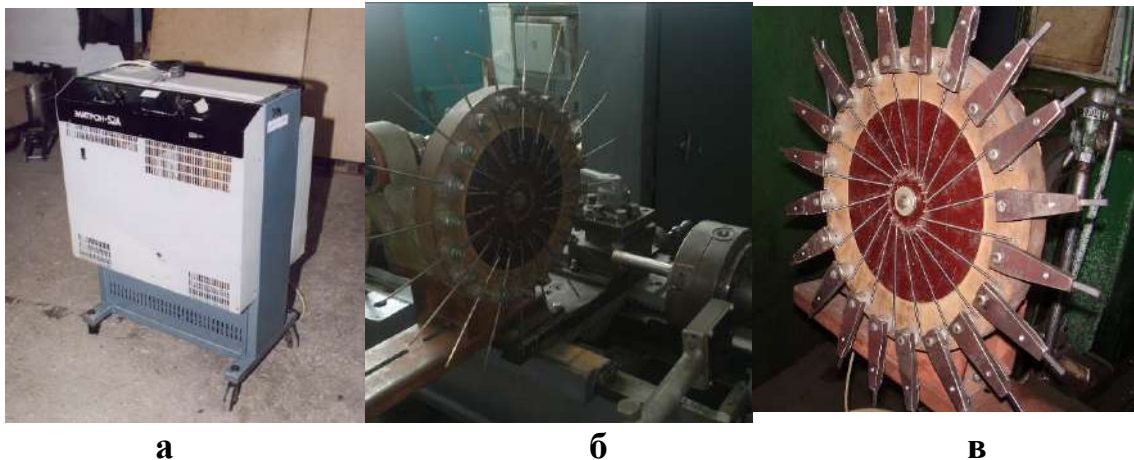


Рисунок 3.1 – Установка «Элітрон-52А», призначена для чистового і грубого ЕІЛ (а), механізована установка ЕІЛ моделі «ЕІЛ-9» (б) і пристосування для закріплення електродів з твердого сплаву (в).

Для проведення дослідницьких робіт з нанесення як однорідних, так і комбінованих електроіскрових покриттів (КЕІП), а також відновленню деталей типу тіл обертання використовувалася механізована установка «ЕІЛ-9», що мала багатоелектродний інструмент, що базується на токарному верстаті (рис. 3.1, б). З огляду на те, що електроди з твердих сплавів погано витримують

ударні навантаження, для їх використання застосовували спеціальні кріплення (рис. 3.1, в).



Рисунок 3.2 - Схема зміцнення поверхні в автоматизованому режимі:
1 - вібратор з електродом установки «Елітрон -52А»; 2 - зразок; 3 - багатоелектродний інструмент механізованої установки «ЕІЛ-9»

Установка «ЕІЛ-9» містить джерело технологічного струму (генератор) і електропривод з електродною головкою, що монтується на токарно-гвинторізних верстатах. Допустимі габаритні розміри відновлюваної поверхні обумовлюються моделлю застосовуваного верстата. Товщина шару, що наноситься в процесі ЕІЛ за один прохід залежить від матеріалу електроду, режиму і часу обробки і може досягати 0,6 мм.

При ЕІЛ на установці «ЕІЛ-9» не відбувається спотворень вихідної геометричної форми зміцнюваних або відновлюваних деталей, відсутні ведення. Це обумовлено тим, що в процесі легування температура нагріву деталі не перевищує 100 °С.

Дослідження сформованих поверхневих шарів на установках, які використовувалися, проводилися в діапазоні енергій розряду (W_p) від 0,04 до 6,8 Дж. Режими роботи установок наведені в таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 - Режими роботи установки моделі «Елітрон 52-А»

Тип генератора	Номер режиму	Ємкість, С, мкФ	Напруга, U, В	Енергія розряду, W_p , Дж
Транзисторно-тиристорний (ТТ)	1	120	35	0,05
	2		75	0,20
	3		100	0,36
	4	300	35	0,11
	5		75	0,60
	6		100	0,90
	7	1560	35	0,60
	8		75	2,6
	9		100	4,60
RC	10	480	80	0,90
	11		95	1,30
	12		110	1,70
Суміщення ТТ+RC	13	120+480	80+100	1,3
	14	300+480	95+100	2,2
	15	1560+480	110+100	6,8

Таблиця 3.2 – Режими роботи установки моделі «ЕІЛ-9»

Номер режиму	Ємкість накопичувальних батарей С, мкФ	Напруга холостого ходу $U_{х.х.}$, В	Енергія розряду W_p , Дж
1	1200	58	1,41
2	2400	58	2,83
3	1200	90	3,4
4	2400	90	6,8

Режим легування вибирався відповідно до рекомендацій табл. 3.3.

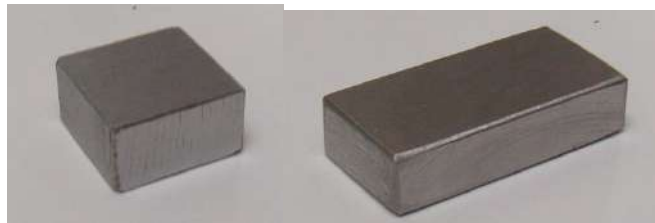
Таблиця 3.3 - Залежність сили робочого струму генератора і перетину електрода від необхідної товщини шару, що наноситься

Найменування	Значення		
Товщина покриття, що наноситься (на діаметр) за один прохід, мм	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4
Робочий струм, А	0-10	10-20	20-30
Перетин електродів, мм ²	3-5	5-7	7-10

3.2 Методика підвищення якості зміцнюваного або відновлюваного методом ЕІЛ поверхневого шару

Для підвищення якості, зміцнюваного або відновлюваного методом ЕІЛ поверхневого шару, нами запропоновано новий спосіб, при якому покриття наносять поетапно, причому на першому етапі наносять шар, використовуючи режими, які забезпечують найбільшу суцільність і товщину покриття, потім, тим же електродом виконують ЕІЛ з такою енергією розряду і відповідною їй продуктивністю, при якій формують поверхню з шорсткістю приблизно в 2-4 рази вище, ніж на попередньому етапі. В результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні (патент UA на корисну модель №138052).

Для проведення досліджень в рамках запропонованого способу методом ЕІЛ на установці моделі «Елітрон 52-А» на зразки, розміром 20x10x8 і 15x15x8 мм зі сталі 20 і 12X18Н10Т (рис. 3.3) при різних режимах енергії розряду наносили покриття електродами з олов'яної бронзи марки БрО10Ф1, твердого сплаву Т15К6 і нержавіючої сталі 12X18Н10Т.



а

б

Рисунок 3.3 – Плоскі зразки розміром: **а** – 15x15x6 мм; **б**– 20x10x5 мм.

При цьому виготовляли три серії зразків:

1 серія - покриття проводили в один етап: на зразок наносили покриття на одному режимі;

2 серія - покриття проводили в два етапи: перший на режимі, що забезпечує найбільшу суцільність і товщину покриття і другий на більш «грубому», з шорсткістю в 2-4 рази більшою ніж на попередньому;

3 серія - покриття проводили в два етапи в послідовності протилежній серії 2.

3.3 Методика відновлення зношених посадкових поверхонь шнека методом ЕІЛ з подальшим нанесенням МПМ

Резервом збільшення товщини відновленого шару можуть бути комбіновані технології, наприклад, ЕІЛ і нанесення МПМ. Переваги інтегрованої технології ЕІЛ + МПМ достатньо описані в розд. 1. Основне застосування способу це відновлення деталей в нероз'ємних з'єднаннях (посадочних місць під підшипники, напівмуфти і ін.).

Для вдосконалення технології відновлення деталей ЕІЛ + МПМ, нами запропоновано новий спосіб, відновлення поверхонь зношених металевих деталей, який, як і відомі, включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття ЕІЛ металевим електродом на режимах, що забезпечують шорсткість поверхні покриття від 1 до 200 мкм і більше при енергії розряду 0,036-6,8 Дж. Потім на отриману поверхню наносять, як мінімум, один шар МПМ, який перед полімеризацією армують, що найменше, одним шаром дроту. При цьому забезпечують таку товщину нанесеного МПМ, при якій рівень занурення армуючого дроту, що найменше, в один шар МПМ відповідає, принаймні, половині діаметру дроту, який формує, що найменше, один армуючий шар. Потім, не чекаючи застигання МПМ, продовжують наносити МПМ, поки повністю не покриється шар армуючого дроту (**патент UA на винахід № 117980**).

При відновленні шийок шнека центрифуги типу ОГШ, виготовленого з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, в якості армуючого матеріалу може бути використана дрід з такого ж матеріалу. Дрід навивають з кроком не менше 1,0 - 1,5 мм.

В даному випадку, для відновлення зношених поверхонь можна використовувати дрід з: хрому, нікелю, сталі 12Х18Н10Т і ін.

Затверділий металополімерний матеріал можна обробляти будь-яким з відомих способів, включаючи шліфування або обробку лезовим інструментом.

При відновленні твердої зносостійкої зношеної поверхні деталей тіл обертання нанесений шар МПМ, перед полімеризацією армують шляхом розміщення на ньому з натягом пружини, виконаної з дроту, виготовленого з твердого зносостійкого матеріалу, наприклад, сталі 65Г, 9ХВ2С, берилієвої бронзи БрБ2, що пройшла термообробку. Причому, застосовують пружину з кроком намотування не менше 1,0 - 1,5 мм. При відновленні зношеної шийки шнека можна використовувати пружину зі сталі 12Х18Н10Т.

3.4 Методика відновлення і зміцнення зношених посадкових поверхонь під підшипники кочення

З метою збільшення товщини шару підвищеної твердості при відновленні і зміцненні зношених посадочних поверхонь шнеків під підшипники кочення запропонована нова технологія формування КЕІП (**патент UA на винахід №136895**).

Цементацію методом ЕІЛ (ЦЕІЛ) проводили на зразках сталі 12Х18Н10Т розміром 10х10х8 на установці з ручним вібратором «Елітрон-52А» при енергії розряду $W_p = 3,4$ Дж. Тривалість процесу легування становила 1,0 хв.

В якості електродів при ЦЕІЛ використовували графіт марки ЕГ-4.

З метою отримання комбінованих покриттів на сталі 12Х18Н10Т легування здійснювали в такій послідовності:

- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж.

Металографічні і дюрOMETричні аналізи отриманих покриттів проводили за стандартними методиками з використанням оптичного мікроскопа «Неофот-2» і приладу ПМТ-3, відповідно.

Для дослідження розподілу елементів і вуглецю по глибині шару проводився локальний мікрорентгеноспектральний аналіз з використанням скануючого електронного мікроскопа Jeol JSM-5400 оснащеного мікроаналізатором ISIS 300 Oxford Instruments.

3.5 Методика відновлення і одночасного зміцнення поверхонь деталей інтегрованою технологією ЕІЛ + МПМ + ЛО

Методом ЕІЛ на установці моделі «Елітрон 52-А» на зразки, розміром 15x15x8 мм з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т поетапно, згідно способу (**патент UA Корисна модель №138052**), наносили покриття електродами з твердого сплаву Т15К6 з використанням спочатку енергії розряду $W_p = 0,55$ Дж (рис. 3.4, **а**), а потім $W_p = 0,90$ Дж (рис. 3.4, **б**).

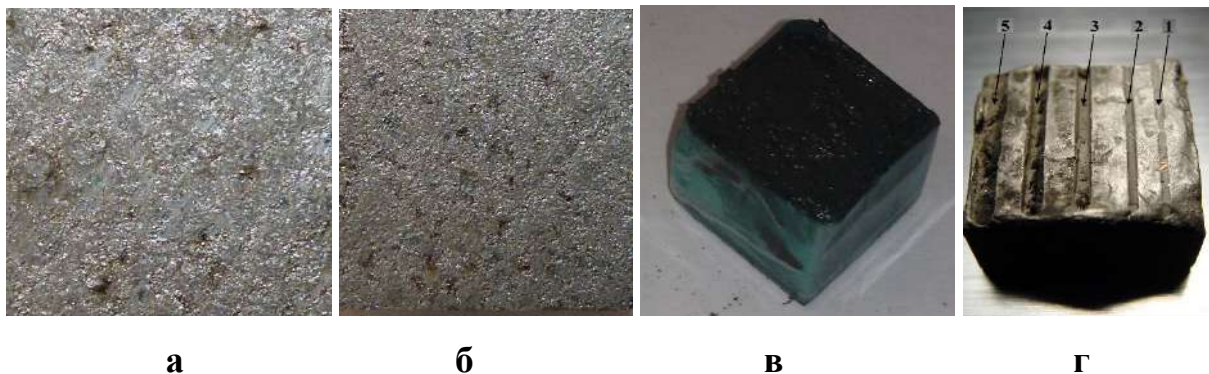


Рисунок 3.4– Зразки сталі 12Х18Н10Т після ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 0,55$ Дж (**а**); при (**а**) +0,90 Дж (**б**); при (**б**) + консистентні речовина з МПМ і твердосплавних суміші ВК6 (**в**); при (**в**) + ЛО (**г**).

В якості армуючого матеріалу при полімеризації використовували порошок у вигляді твердосплавної суміші ВК6, який невеликими порціями додавали в МПМ. При цьому, після кожної порції, отриманої у вигляді пасти суміш, ретельно перемішували, доводячи концентрацію, перед нанесенням на

електроіскрове покриття \sim до 60%. Подальше збільшення концентрації ускладнювало перемішування і не гарантувало повного обволікання окремих частинок суміші МПМ. Утворену консистентну речовину, ретельно втираючи, наносили на сформоване методом ЕІЛ покриття з твердого сплаву Т15К6 (рис. 3.4, в).

Після висихання протягом 24 год поверхню сформованого покриття піддавали лазерній обробці (ЛО) лазером моделі Laser Nd - YAG BLS 720 (ROFIN-BAASEL Lasertech, Germany) (рис. 3.5).

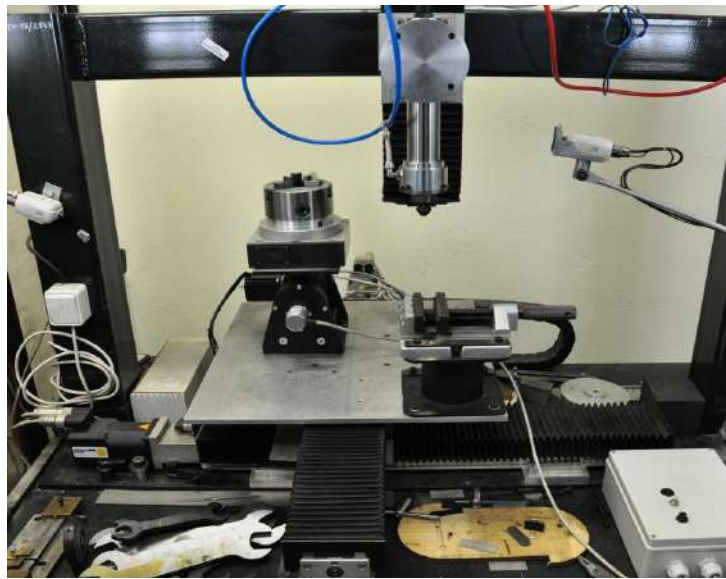


Рисунок 3.5 – Лазер Nd – YAG BLS 720.

Параметри лазера:

- максимальна енергія 40Дж,
- максимальна потужність 150 Вт,
- робоча частота 0,1 - 500 Гц,
- тривалість імпульсу 0,1 - 20 мс,
- діаметр плями 0,6 мм,
- довжина хвилі 1064 нм,
- робочий стіл: 500x500 мм,
- лінійне переміщення уздовж трьох осей, поворотна головка,
- поворотний стіл.

На рис. 3.4, г показаний зразок сталі 12X18H10T після поетапного ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 0,55$ і $0,90$ Дж; подальшого нанесення консистентної речовини з МПМ і твердосплавної суміші ВК6 і ЛО по режимам (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Режими лазераNd – YAG BLS 720

№ Режиму (лунки)	Подача, мм/хв	Напруга, В	Імпульс лазера, сек	Частота, Гц
1	120	500	$0,3 \times 10^{-3}$	100
2	120	500	$0,3 \times 10^{-3}$	50
3	120	500	1×10^{-3}	50
4	120	550	1×10^{-3}	50
5	120	600	1×10^{-3}	50

Рентгенографічні дослідження проводили в $\text{CuK}\alpha$ - випромінюванні на дифрактометрі PROTO AXRD, який оснащений точковим кремнієвим детектором (SPD). Дифрактограми знімали методом покрокового сканування. Крок сканування становив $0,050$, час експозиції в точці - 2 с. Обробку експериментальних результатів виконували за допомогою програми для повнопрофільного аналізу рентгенівських спектрів від суміші полікристалічних фазових складових Powdercell 2.4.

У зв'язку з багатофазністю і накладенням ряду піків їх поділ здійснювали шляхом апроксимації дифракційних максимумів функцією Pseudo-Voigt 2. Методом найменших квадратів досягали максимальної відповідності експериментального і апроксимуючого профілів з урахуванням спареності $\text{CuK}\alpha$ - випромінювання.

Для дослідження розподілу елементів по глибині шару проводився локальний мікрорентгеноспектральний аналіз, заснований на реєстрації характеристичного рентгенівського випромінювання, збудженого електронним пучком присутніх в мікрообсязі хімічних елементів. Для цього використовувався електронний мікроскоп, оснащений рентгеноспектральним мікроаналізатором, ISIS 300 Oxford Instruments.

3.6 Методика формування товстошарових КЕП на поверхнях деталей типу тіл обертання екологічно безпечними технологіями

Для нанесення КЕП, на попередньо ЦЕІЛ поверхні, в якості матеріалу підкладки використовували циліндричні зразки з корозійно-стійких сталей 12Х18Н10Т і 10Х17Н13М2Т (рис. 3.6). які виготовляли у вигляді катушки, що складається з двох (а) і чотирьох (б) дисків, $\varnothing 50 \times 15$ і $\varnothing 30 \times 50$ мм, відповідно, з'єднаних між собою проставкою діаметром 15 мм і має дві технологічних ділянки такого ж діаметру.



Рисунок 3.6 –Зразки з корозійно-стійких нержавіючих сталей 12Х18Н10Т і 10Х17Н13М2Т для нанесення КЕП.

Як електрод застосовували графіт марки МПГ-7. Поверхні дисків перед ЦЕІЛ шліфували до $Ra = 0,5$ мкм.

Зразки закріплювали в патроні токарного верстата і виконували ЦЕІЛ на установці «Елітрон-52А» при $W_p = 3,4$ Дж. (Рис. 3.7, а).

Використовуючи механізовану установку «ЕІЛ-9», по цементованій поверхні здійснювали три проходи ЕІЛ алюмінієвими електродами з енергією розряду (W_p) = 3,4 Дж (рис. 3.7, б). Потім, використовуючи оснащення для закріплення електродів (рис. 3.1, в), наносили покриття з твердого сплаву Т15К6, виконуючи два проходи з $W_p = 0,9$ Дж і два проходи з $W_p = 3,4$ Дж (рис. 3.7, в, г).



Рисунок 3.7 – Формування на сталі 12Х18Н10Т КЕП: **а** -ЦЕІЛ; **б** - ЕІЛ А1; **в** - ЕІЛ Т15К6; **г** - поверхня зразка з КЕП; **д** - ОК; **ж** - поверхня зразка після ОК; **з** - поверхня зразка з МПМ, армованим твердим сплавом ВК6, **и** - проточена поверхня зразка.

Поверхню сформованого покриття обробляли ППД методом обкатки кулькою (ОК) (рис. 3.7, д, ж). На покриття з твердого сплаву Т15К6, ретельно втираючи, наносили МПМ, попередньо армований порошком у вигляді тврдосплавної суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини ~ 60% (рис. 3.7, з). Після полімеризації шар МПМ проточували до виступів шорсткостей покриття з твердого сплаву Т15К6 (рис. 3.7,и).

3.7 Методика формування товстошарових КЕП на плоских і криволінійних поверхнях деталей екологічно безпечними технологіями

З метою вдосконалення технології формування на плоских і криволінійних поверхнях деталей товстошарових КЕП, запропонований новий екологічно безпечний спосіб, який полягає в отриманні товстошарового КЕП на поверхню товстостінної циліндричної труби, шириною кільця з покриттям необхідних розмірів, після чого від труби відрізають кільце з нанесеним покриттям і непокритою ділянкою. Потім відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, розгинають їх до необхідних розмірів і прикріплюють, використовуючи поверхні без покриття, до ділянок деталі, які зношуються.

Апробацію нового способу КЕП, сформованого в послідовності ЦЕЛЛ →ЕІЛАІ →ЕІЛТ15К6 →ОК→МПМ, про водили для відновлення зношених поверхонь шнека, що виготовляється з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, для центрифуги марки ОГШ-631К-02, що використовується на очисних спорудах для очищення стічних вод.

Технологію відновлення здійснюють наступним чином. У сегментах, які прикріплюються до лопатей на конусній ділянці шнека, де знос найбільш значний, виготовляють наскрізний паз (рис. 3.8, а). Для сегментів, які прикріплюються до лопатей на циліндричній ділянці шнека, виготовляють виточку (рис. 3.8, б). При цьому висота сегмента становить ~ 50 мм, глибина паза і виточки знаходяться в межах 30-35 мм, а ширина дорівнює товщині витка шнека. Для витків шнека центрифуги ОГШ-631К-02 з товщиною лопаті шнека 4,0 мм в разі виготовлення сегмента з наскрізним пазом потрібна заготовка з листа сталі 12Х18Н10Т товщиною близько 9-10 мм, а для сегмента з виточенням 7-8 мм.

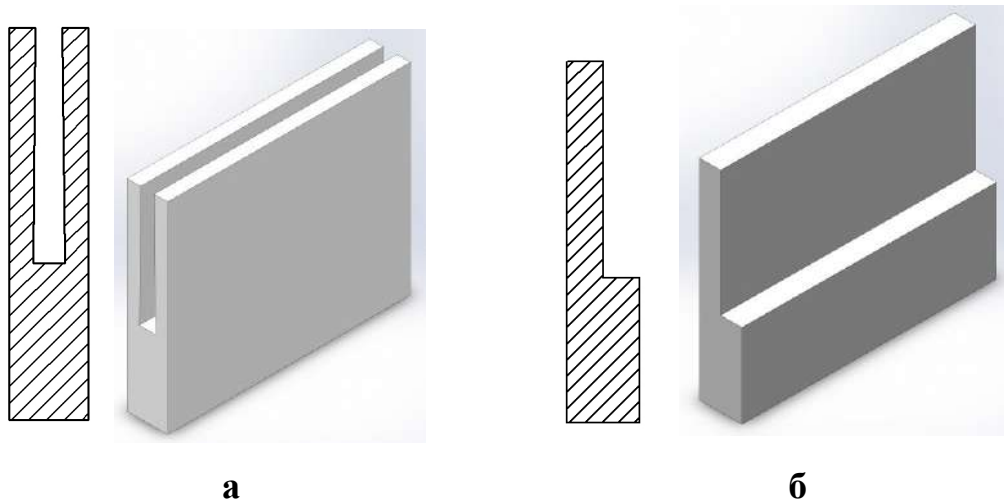


Рисунок 3.8 – Типи сегментів: **а** - з наскрізним пазом, **б** - з виточкою

Сегменти з товстощаровими КЕПІ виготовляють у такій послідовності:

- частину циліндру (труби), зовнішнім діаметром 100 мм і мікротвердістю ~ 2300 МПа зі сталі 12Х18Н10Т затискають в патроні токарного верстата;
- в залежності від типу сегмента:
 - для сегмента з виточкою розточують трубу на 4,0 мм, а з пазом проточують паз в торці труби, зберігаючи товщину стінок 2,5-3,0 мм;
 - використовуючи установку «Елітрон-52А», проводять ЦЕІЛ поверхні труби з енергією розряду (W_p) = 3,4 Дж, починаючи на відстані 30 і закінчуючи 60мм від торця. При цьому, ділянки поверхні, що не зміцнюються, необхідно захистити від торкання легуючого електроду-інструменту будь-яким ізоляційним матеріалом (рис. 3.9);



Рисунок 3.9 – ЦЕІЛ поверхні труби

- використовуючи механізовану установку «ЕІЛ-9», по поверхні з ЦЕІЛ, виконують три проходи ($W_p = 3,4$ Дж) алюмінієвими електродами, а потім, використовуючи спеціальне оснащення для закріплення електродів, що захищає їх від руйнування, наносять покриття з твердого сплаву Т15К6 в два проходи з $W_p = 0,9$ Дж і два проходи з $W_p = 3,4$ Дж;

- за допомогою спеціального пристосування, проводять ОК сформованого КЕП;

- на покриття з твердого сплаву Т15К6, ретельно втираючи, наносять МПМ, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6 (рис. 3.10, **а**);

- після полімеризації шар МПМ проточують до виступів шорсткостей покриття з твердого сплаву Т15К6 і відрізають ділянку труби на відстані 50 мм від торця;



Рисунок 3.10 – Відрізана ділянка труби: **а** - з нанесеним МПМ, армованим порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6; **б** - з проточеним МПМ.

- втулку, з нанесеним КЕП, розрізають на окремі сегменти і розгинають до необхідного радіуса викривлення лопаті шнека. У нашому випадку, для шнека центрифуги марки ОГШ-631К-02, лопаті мають плоску поверхню, тому сегменти необхідно розгинати повністю.

Виготовлений таким чином сегмент прикріплюють до зношеної поверхні витка шнека і фіксують заклепками, гвинтами або іншими кріпильними

елементами. При цьому контактуючі поверхні сегмента і витка шнека покривають МПМ.

Для проведення металографічних і дюрOMETричних досліджень на кожній стадії нанесення КЕП з круглих зразків вирізали окремі сегменти (рис. 3.11, а) і виготовляли шліфи (рис. 3.11, б).

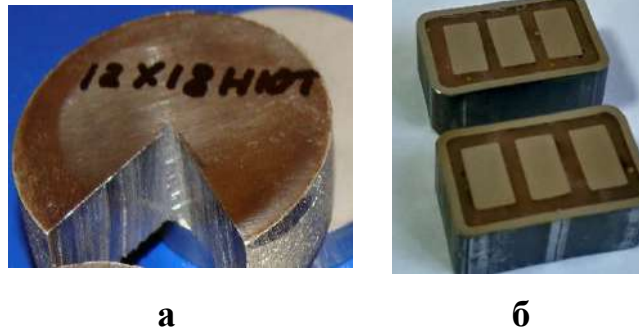


Рисунок 3.11 – Виготовлення шліфів для металографічних і дюрOMETричних досліджень: а - зразок з вирізаним сегментом, б - металографічні шліфи.

При виготовленні поверхню шліфа була орієнтована перпендикулярно до поверхні легування. Перед виготовленням шліфа, для виключення крайового ефекту при легуванні, торець зразка фрезерували на глибину не менше 2 мм. Для попередження зминання шару, завалів краю, зразок кріпили з контртілом в струбціні. Виготовлений шліф піддавався хімічному травленню для виявлення структури в реактиві. Після виготовлення шліфи досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка якості шару, його суцільності, товщини і будови зон підшару - дифузійної зони і зони термічного впливу. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі і по глибині шліфа від поверхні. Замір мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавненням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н, згідно ГОСТ 9450-76.

3.8 Методика розробки екологічно безпечної технології зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕІЛ

З метою визначення впливу енергетичних параметрів ЕІЛ на якісні параметри сталі 65Г, проводили ЦЕІЛ на установці моделі «Елітрон 52А» зразків, розміром 15x15x (1-10) мм з цієї сталі, з використанням різних режимів. Крім цього, досліджували кілька зразків різної товщини з сталей 30X13, і 40X. Кожному режиму ЦЕІЛ відповідає своя енергія розряду (W_p) і продуктивність - площа сформованого покриття в одиницю часу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Залежність продуктивності ЕІЛ від енергії розряду

Енергія розряду (W_p), Дж	0,52	1,3	2,6	4,6	6,8
Продуктивність, см ² /хв	1,0-1,3	1,3-1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0

Процес зміцнення зразків протікав в два етапи:

- перший етап - нагрів до гартівних температур даної сталі і подальше охолодження на повітрі або в середовищі масла чи води;
- другий етап - нагрівання до температури відпуску і подальше охолодження на повітрі (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 –Температура гарту і відпуску стали методом ЦЕІЛ

Марка сталі	Температура гарту, °С	Температура відпуску, °С
65Г	820-830	200
30X13	950-1050	200
40X	840-860	200

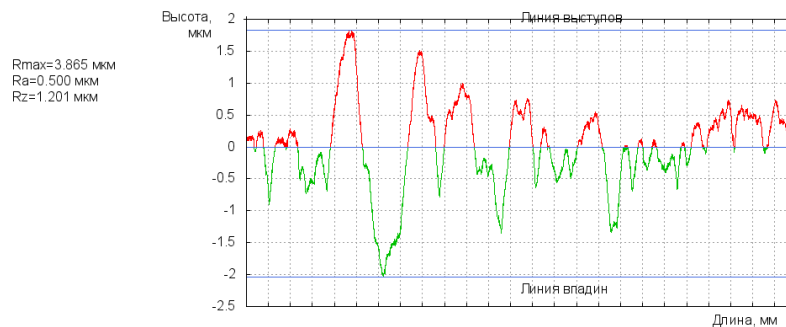
Для кожної товщини зразків реєстрували час досягнення необхідної температури гарту або відпуску (продуктивність процесу). Температуру зразків в процесі ЕІЛ графітовим електродом реєстрували пірометром моделі «СЕМ ДТ- 8866».

Структуру зразків вивчали на оптичному мікроскопі «Неофот-2». На мікротвердомірі ПМТ-3 проводили дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості по перетину зразка при навантаженні на індентор $P = 0.5 \text{ Н}$. Твердість з лицьової (на якій проводили ЦЕІЛ) і зворотної поверхонь зразка вимірювали на приладі Роквелла, при цьому використовували шкалу HRC.

На всіх етапах обробки вимірювали шорсткість поверхні на приладі профілограф - профілометр мод. 201 заводу «Калібр» (рис. 3.11, **а**). При цьому результати через спеціальний пристрій видавалися на монітор комп'ютера у вигляді графіків (рис. 3.12, **б**).



а



б

Рисунок 3.12 – Вимірювання шорсткості на приладі профілограф - профілометр мод. 201 заводу «Калібр» (**а**); профілограма шорсткості вихідного зразка (**б**).

3.9 Вибір матеріалів для проведення досліджень з розробки екологічно безпечної технології виготовлення і ремонту шнеків

Матеріали, що застосовуються для дослідження, підрозділяються на матеріали для катода (деталі) і анода (легуючого електрода).

Для визначення можливості управління якісними параметрами і ступенем зміцнення ЕІЛ поверхневих шарів металів, а також встановлення впливу інших методів поверхневого зміцнення і відновлення (ППД, МПМ) на структуру зміцнених шарів і їх властивості, досліджувалися особливості формування поверхневих шарів деталей з матеріалу різного ступеня легування, з різним типом кристалічної решітки в залежності від режиму ЕІЛ, матеріалу легуючого електрода і часу легування.

Використовувані для досліджень матеріали анода і катода, а також деякі їх фізико-механічні властивості занесені в таблицях 3.6 і 3.7.

Таблиця 3.6 - Режими обробки і фізико-механічні властивості матеріалів, що застосовуються при ЕІЛ в якості катода (деталі)

Марка матеріалу	Вид обробки	Межа міцності, МПа	Межа текучості, МПа	Твердість, МПа, HRC
Сталь 20	Зак. 800-820 °С, відпуск	470	245	1430-1790МПа
Сталь 40Х	840-860 °С; зак., відпуск	530	275	1670-2070МПа
65Г	Зак. 840-860 °С; відпуск	1470	1220	45-49 HRC
30Х13	Зак. 1000-1050 ⁰ С, відпуск	735	588	45-48HRC
12Х18Н10Т*	Зак. 1050-1080 ⁰ С, відпуск	540	240	1900 МПа
10Х17Н13М2Т	Зак. 1030-1080 ⁰ С, відпуск	530	236	2000 МПа

*- матеріал застосовувався в якості анода і катода.

Як матеріал катода використовувалася сталь 20, що є представником конструкційних сталей. Ця низьковуглецева нелегована сталь застосовувалася для досліджень в стані поставки з твердістю основи 170HV і феритно-перлітною структурою. В даному випадку вивчалася закономірність

формування структури поверхневого шару при відпрацюванні якості, зміцнюваного або відновлюваного методом ЕІЛ поверхневого шару (**патент UA на корисну модель №138052**).

Таблиця 3.7- Фізико-механічні властивості матеріалів, що застосовуються при ЕІЛ в якості анода (легуючого електрода)

Марка матеріалу	Температура плавлення, °С	Твердість	Кристалічна решітка	Теплопровідність, Вт / (м·К)	Коефіцієнт лінійного розширення, 10^{-6} , град ⁻¹
Твердий сплав Т15К6	-	90,2 НРА	Гексагональна/кубічна	12,5	5,6
Алюміній	660	24-32НВ	Г.Ц.К.	203,5	24,6
БрО10Ф1	934	90 НВ	О.Ц.К.	49	17
Графіт (С)	3747	3,06 НВ	Гексагональна	268	27

Більшість експериментів проводилося з використанням в якості матеріалу катода хромонікелевої титановмісної сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т. Хімічний склад регламентований ГОСТ 5632-72 нержавіючих сталей аустенітного класу.

Оптимальною термічною обробкою для цих сталей є гарт з 1050°С-1080°С в Н₂О, після гарту механічні властивості характеризуються максимальною в'язкістю і пластичністю, та не високими міцністю (700-850МПа) і твердістю (1700-1790 МПа).

Корозійно-стійка сталь 12Х18Н10Т використовується для виготовлення зварної апаратури в різних галузях промисловості, в тому числі і шнеків центрифуг для очищення промислових і побутових стічних вод, що працюють в контакт з азотною кислотою і іншими окисними середовищами, деякими органічними кислотами середньої концентрації, органічними розчинниками, в атмосферних умовах і т.д.

Для досліджень матеріалу, що застосовується при виготовленні шнеків центрифуг, використовуваних для очищення промислових і побутових стічних вод, при температурі до 45 °С, що містять менш агресивні суспензії, які містять

нейтральні і лужні солі, такі як нітрати натрію, кадмію, барію та ін. нами застосовувалася конструкційна сталь 40Х.

Дана марка сталі отримала особливого поширення в машинобудуванні при виробництві відповідальних деталей обертання, таких як: вали, плунжери, осі, кільця, шпинделі, зубчасті вінці і т.д. Корисними властивостями, притаманними сталі 40Х є: висока механічна міцність; стійкість до різких перепадів температури; знижена чутливість до корозії.

Крім цього, сталі 65Г, 40Х та 30Х13, досліджували для подальшого застосування при виготовленні сегментів, які використовуються при ремонті зношених поверхонь витків шнеків машин для прибирання і транспортування гною.

Як анод використовували: алюміній, олов'яну бронзу БрО10Ф1, вуглець (графіт різних марок), нержавіючу сталь 12Х18Н10Т і твердий сплав Т15К6.

3.10 Методика дослідження зносостійкості зразків з захисними КЕШ проти гідроабразивного зносу і фреттинг - корозії

З метою оцінки гідроабразивної зносостійкості зразків з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями для ремонту лопатей шнеків центрифуг типу ОГШ і сталей 65Г, 40Х та 30Х13 після ЦЕІЛ, що застосовуються для виготовлення шнеків машин для прибирання і транспортування гною, визначали інтегральний знос по втраті маси зразків і лінійний зношування, яке вимірювали мікрометром.

Випробовувані серії зразків представлені в табл.3.8.

Для проведення випробувань зразків на гідроабразивну зносостійкість була розроблена конструкція і виготовлена дослідна установка (рис. 3.13, а). Як абразивний матеріал використовували водну суміш піску з розміром частинок 0,1- 0,5 мм (рис. 3.13, б) і концентрацією 100 і 50 г/л. Дослідження проводилися протягом 24 годин.

Таблиця 3.8 – Серії зразків для випробувань на гідроабразивну зносостійкість

Матеріал зразка	Спосіб зміцнення
12X18H10T	без покриття
	ЕЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ и $0,90$ Дж)
	ЕЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ и $0,90$ Дж) + МПМ
	ЕЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ и $0,90$ Дж) → МПМ → ЛЮ
	ЦЕЛ → ЕЛ АІ → ЕЛ Т15К6 → ОК → МПМ. проточений
	наплавка стеліту
65Г	гарт 830°C , охолодження повітря, ЦЕЛ
	гарт 830°C , охолодження масло, ЦЕЛ
40Х	гарт 860°C , охолодження повітря, ЦЕЛ
	гарт 860°C , охолодження масло, ЦЕЛ
30Х13	гарт 950°C , охолодження повітря, ЦЕЛ
	гарт 950°C , охолодження масло, ЦЕЛ

Зразки фіксували на диску за допомогою тримачів (рис. 3.13, в, г). Кріплення тримача до диска дозволяє змінювати кут зустрічі зразка з абразивом. В процесі випробувань зразки, закріплені під кутом 45° , оберталися зі швидкістю 120 об / хв.

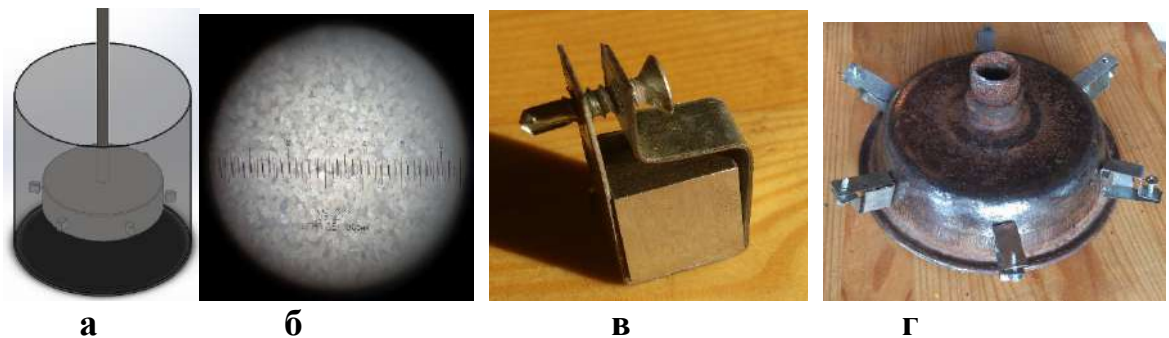


Рисунок 3.13 – а - схема установки для випробувань зразків на гідроабразивну зносостійкість; б - розмір часток піску; в - фіксація зразків на диску; г - розміщення тримачів на диску

З метою визначення найбільш перспективної і екологічно безпечної технології відновлення і зміцнення посадкових поверхонь шнека зі сталі 12X18H10T під підшипники кочення проводили відносні порівняльні випробування на машині тертя СМЦ-2 (рис. 3.14, а) за схемою диск - плоский

зразок (рис. 3.1, **б**), який слугував контртілом. В якості контртіла використовувався прямокутний зразок з твердого сплаву ВК8 з шорсткістю робочої поверхні $R_a = 1,6$ мкм.

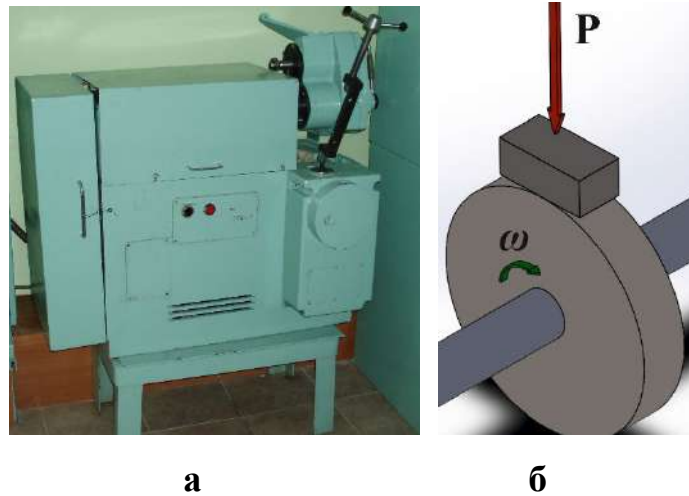


Рисунок 3.14 – **а** - машина тертя СМЦ-2; **б** - схема випробувань зносостійкості сталевих зразків з різними покриттями

Випробування проводилися в умовах, коли нижня частина круглого зразка знаходилася у ванні з індустріальним маслом И40А. Швидкість ковзання становила 0,78 м/с, питомий тиск - 10 МПа, навантаження на контртіло - 100 Н, тривалість випробувань - 8 год, що відповідає шляху тертя 22,5 км. За допомогою реле часу регулювалися як час випробування, так і реверс обертання шпинделя зі зразком, при цьому напрямок обертання змінювався кожні 3 хв.

Покриття наносили на поверхню круглого зразка (диска $\varnothing 50 \times \varnothing 10 \times 10$ мм), зразки встановлювали на машину тертя і припрацьовували протягом 1 год з питомим навантаженням 2,0 МПа. Приробіток вважався закінченим, якщо частка поверхні приробітку становила не менше 95% номінальної.

Зразки для визначення інтегрального зносу всієї поверхні перед випробуванням зважували на аналітичних вагах ВЛА-200 з точністю до 0,0001г. Інтегральний (ваговий) знос визначали як різницю ваги зразка до і після проведення випробувань.

Випробовувані серії зразків:

- без покриття;
- ЦЕІЛ → ЕІЛ А1 → ЕІЛ Т15К6 → МПМ;
- ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6;
- ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований дротом;
- ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ.

3.11 Методика дослідження впливу захисних КЕШ на фізико-механічні властивості деталей

Згідно ГОСТу 7855-84, для дослідження впливу різних технологій зміцнення на фізико-механічні властивості деталі, були виготовлені зразки зі сталі 12Х18Н10Т, 65Г, 40Х та 30Х13 (рис. 3.15). Зміцнення виконувалось на установках ЕІЛ «Елітрон-52А» і «ЕІЛ-9», час легування - 5 хв. Режими обробки наведені в табл.3.9.



Рисунок 3.15 – Зразок для випробування на розрив

Таблиця 3.9 - Застосовувані методи обробки зразків при випробуванні на розрив

Матеріал	Методи обробки зразків
12Х18Н10Т	ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,90$ Дж)
	ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ
	ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ армований порошком твердого сплаву ВК6
	ЦЕІЛ → ЕІЛ А1 → ЕІЛ Т15К6 → МПМ
65Г	-
	ЦЕІЛ
40Х	-
	ЦЕІЛ
30Х13	-
	ЦЕІЛ

3.12 Методика оцінки екологічної безпеки технології ЕІЛ і наплавлення металевих поверхонь

Для досліджень хімічного складу газового середовища в зоні проведення електрозварювання (наплавлення) і ЕІЛ використовувалася вакуумна установка УВБЛ-4 (установка вакуумна безмасляна лабораторна), принципова схема якої зображена на рис. 3.16.

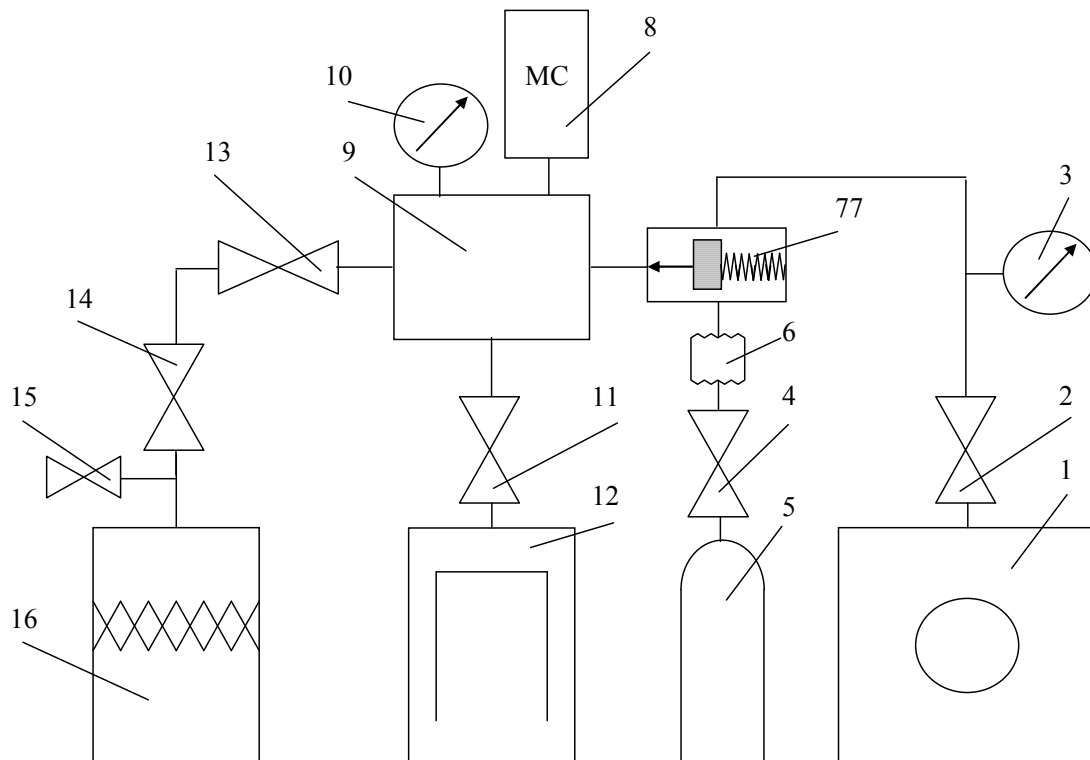


Рисунок 3.16 – Принципова схема вакуумної установки УВБЛ-4:

1 - механічний форвакуумний насос; 2, 4 - запірні вентиля; 3 - манометричний перетворювач ПМТ-4М; 5 - балон з еталонним газом; 6 - перепускний обсяг; 7 - дозувальний вентиль; 8 - аналізатор мас-спектрометра МХ7304; 9 - вакуумна камера; 10 - манометричний перетворювач МІД; 11 - високовакуумний вентиль ДУ-50; 12 - магніторозрядний насос НМДО-0,25; 13, 14 - запірний вентиль ДУ-12; 15 - запобіжний клапан; 16 - адсорбційний вугільний насос.

Високий вакуум 10⁻⁵-10⁻⁶ Па створюється у вакуумній камері (9) за допомогою магніторозрядного високовакуумного насосу НМДО-0,25 (12). Вимірювання високого вакууму здійснюється за допомогою манометричного перетворювача типу МІД (10). Аналізатор мас-спектрометр МХ7304 [163] (8) вмонтований безпосередньо в вакуумну камеру (9) і аналізує в ній склад газів. За допомогою дозувального вентиля (7) в камеру можна здійснювати напуск малих кількостей еталонного газу з балона (5) або досліджуваного повітря (замінивши балон з еталонним газом ємністю з досліджуваним повітрям). Дозувальний вентиль є складовою частиною автоматичної системи напуску СНА-1. Управління дозувальним вентиляем (напуск газу) здійснюється за допомогою електронного блоку СНА-1.

Досліджуваний газ відбирався безпосередньо із зони зварювання або зони ЕІЛ за допомогою електромеханічного повітряного насоса в герметичну ПЕТ-пляшку ємністю 1,5 л, яка приєднувалася до вакуумної камери замість балона (5).

Мас-спектрометр МХ7304 належить до газових динамічних мас-спектрометрів з монопольним аналізатором, який дозволяє проводити хімічний аналіз газів в діапазоні парціальних тисків 10⁻³-10⁻¹⁰ Па і діапазоні масових чисел 1-200 а.о.м.

За допомогою мас-спектрометра МХ7304 можна проводити якісний і кількісний аналіз газів. Суть якісного мас-спектрометричного аналізу газу полягає у встановленні його хімічного складу (хімічної формули) в результаті вимірів мас атомів або молекул досліджуваного газу. Так, наприклад, молекула водню (H₂) має молекулярну масу 2 а.о.м., молекула водяної пари (H₂O) має молекулярну масу 18 а.о.м., молекула азоту (N₂) - 28 а.о.м., молекула кисню (O₂) - 32 а.о. м., атом аргону (Ar) - 39 а.о.м., молекула вуглекислого газу (CO₂) - 44 а.о.м. і т.д. Визначивши за допомогою мас-спектрометра масу молекули невідомого газу, тим самим можна відповісти на питання, що це за газ (якісний аналіз).

Маса іона відповідає за хімічний склад речовини, кількість іонів даної маси відповідає за вміст цієї речовини в суміші (кількісний аналіз).

Нейтральні атоми і молекули речовини перетворюються в іони (іонізуються) в джерелі іонів мас-спектрометра. На виході з джерела іони формуються в пучок, який прямує в мас-аналізатор. У мас-спектрометрі МХ7304 встановлено відкрите джерело іонів з іонізацією електронним ударом. Джерело іонів разом з монопольним аналізатором мас-спектрометра розміщені у вакуумній камері вакуумної установки УВБЛ-4 і відкачуються до високого (10^{-3} - 10^{-6} Па) вакууму.

Перед початком проведення досліджень складу проб повітря вакуумна камера (9) разом з аналізатором мас-спектрометра (8) (рис. 3.16) очищався від газу нагріванням до $250 - 300^{\circ}\text{C}$ протягом 10-15 годин і відкачувалась до максимального розрідження $(2 - 5) \times 10^{-6}$ Па. Мас-спектр залишкової атмосфери очищеної від газу вакуумної камери представлений на рис. 3.17, а.

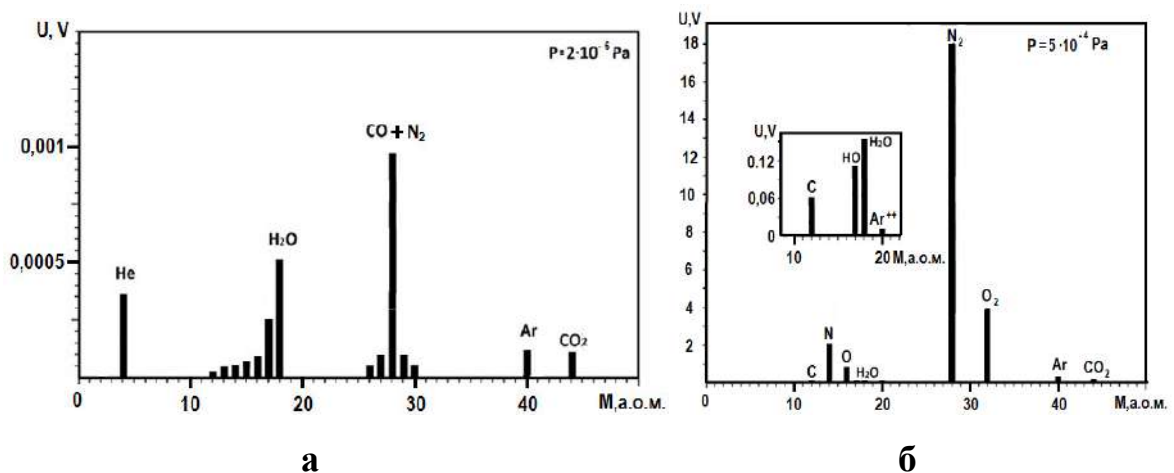


Рисунок 3.17–Мас-спектри: залишкової атмосфери вакуумної камери при максимальному розрідженні в ній 2×10^{-6} Па (а) і чистого повітря при напуску в вакуумну камеру до тиску 5×10^{-4} Па (б)

Такий мас-спектр є типовим для вакуумних установок з безмасляним відкачуванням за допомогою магніторозрядних вакуумних насосів типу НМДО. Основними складовими залишкової атмосфери (основними мас-

спектрометричними піками в мас-спектрограмі залишкової атмосфери) є піки інертних газів He і Ar, які погано відкачуються такими насосами і піки водяної пари H_2O , CO і CO_2 які з'являються в складі залишкової атмосфери вакуумної камери внаслідок десорбції цих газів з її стінок. Інтенсивність (висота) піку пропорційна кількості молекул (парціальному тиску) відповідного газу. Висоту піку прийнято представляти величиною електричного сигналу (в вольтах або амперах), який створюють іони відповідної маси в електричному колі приймача іонів мас-спектрометра. З мас-спектрограми видно, що висоти піків складових залишкової атмосфери не перевищують 0,001В.

Для досліджень хімічного складу газового середовища, в зоні проведення електрозварювання, зварювальні роботи проводили при наплавленні на сталь 12X18H10T зносостійкого покриття плавкими електродами для зварювання нержавіючих і жаростійких сталей марки ОК61. 30 \varnothing 2,5. При цьому використовували струм, $I = 80A$; напруга на дузі, $U = 20-25V$; напруга холостого ходу, $U_{х.х} = 72V$.

Для досліджень хімічного складу газового середовища в зоні роботи на установці «Елітрон -52А» ЕІЛ проводили електродом-інструментом з твердого сплаву Т15К6. При цьому енергія розряду становила 3,4 Дж.

Для дослідження освітленості в приміщенні до і після проведення зварювальних робіт при наплавленні на сталь 12X18H10T зносостійкого покриття плавкими електродами марки ОК61. 30 \varnothing 2,5, а також до і після ЕІЛ стали 12X18H10T електродом з твердого сплаву Т15К6 використовували комбінований прилад "FLUS" ET-965.

3.13. Висновки по розділу 3:

1. З метою підвищення якості електроіскрових покриттів (досягнення найменшої шорсткості, найбільшої суцільності і товщини сформованого шару) при відновленні сталевих деталей, з використанням електродів інструментів з олов'яної бронзи, твердого сплаву Т15К6 і нержавіючої сталі 12X18H10T,

технологію ЕІЛ найбільш доцільно проводити в два етапи, згідно запропонованого способу (**патент UA на корисну модель №138052**).

2. Удосконалена інтегрована технологія відновлення деталей, що включає екологічно безпечні технології ЕІЛ + МПМ, яка полягає в тому, що нанесений шар МПМ армують, хоча б одним шаром дроту або надягають з натягом у вигляді пружини, що пройшла термообробку, потім вказаний шар піддають фінішної обробці механічним методом, наприклад, шліфуванням або лезовою обробкою, на необхідну глибину (**патент UA на винахід № 117980**);

3. Встановлено закономірності формування квазібагатошарових покриттів при ЕІЛ в умовах чергування легуючих електродів при послідовному нанесенні на підкладку сталі 12Х18Н10Т шарів з різних матеріалів: вуглецю, алюмінію, твердого сплаву Т15К6. В результаті запропоновано новий спосіб одночасного відновлення і зміцнення деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, шляхом нанесення КЕП, сформованих в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛ Al → ЕІЛ Т15К6 (**патент UA на винахід №136895**).

4. Запропоновано новий спосіб (**патент UA на корисну модель №131805**) формування зносостійких покриттів, що включає послідовне: ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при енергіях розряду $W_p = 0,55$ Дж і $W_p = 0,90$ Дж; нанесення МПМ, армованого порошком твердого сплаву ВК6 і ЛО, що дозволило збільшити його товщину до 600 мкм з мікротвердістю 7,3 - 10,0 ГПа і суцільністю 100%

5. Запропоновано нову технологію відновлення і одночасного зміцнення деталей типу тіл обертання, що дозволяє формувати на поверхнях, що зношуються сталі 12Х18Н10Т товстошарових КЕП, сформованих в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛ Al → ЕІЛ Т15К6 → МПМ (армований ВК6), товщиною до 1,5 мм, суцільністю 100% , мікротвердістю порядку 10100-9500 МПа і шорсткістю $R_a = 1,2$ мкм (**патенти UA на корисну модель №141919 и 141920**)

6. Розроблена нова інтегрована технологія формування зносостійких товстошарових комбінованих покриттів на плоских і криволінійних поверхнях

деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, сформованих в послідовності: ЦЕЛЛ → ЕІЛ А1 → ЕІЛ Т15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) + ПД, що включає екологічно безпечні методи: ЕІЛ, ППД, МПМ і ПД (**патент UA на корисну модель №142338**) В результаті проведених досліджень, встановлено, що товщина сформованого покриття становить ~ 1,3 мм, мікротвердість до 11000 МПа, суцільність 100% і шорсткість, R a ~ 1,0 мкм;

7. Запропоновано екологічно безпечний спосіб (**патент UA на корисну модель №141992**) зміцнення сталевих деталей з листової сталі методом ЦЕЛЛ, який включає загартування і відпуск, при цьому для досягнення температури гарту і відпуску при ЦЕЛЛ поверхонь деталей з листової сталі товщиною від 1,0 до 10 мм застосовують енергію розряду 4,6-6,8 Дж і продуктивність 0,2-2,0 см²/хв. Застосування запропонованого способу, супроводжується значним (на порядок) зниженням витрат електроенергії, часу, що витрачається на термообробку, відсутністю поводок і викривлення, а також необхідності додаткової механічної обробки для усунення відхилень форми заготовки після термообробки, застосуванням простого і екологічно безпечного обладнання.

8. Розроблено методику та виготовлено установку для проведення порівняльних випробувань зразків із захисними зносостійкими покриттями на гідроабразивний знос і відносну зносостійкість зразків на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск - плоский зразок» з різними покриттями, застосовуваними для відновлення і зміцнення посадкових поверхонь шнека під підшипники кочення.

9. За матеріалами розділу опубліковані наступні роботи [130-135, 137-162].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОБЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ШНЕКІВ МАШИН, ЗАДІЯНИХ В ПЕРЕРОБЦІ І УТИЛІЗАЦІЇ ГНОЮ І ЦЕНТРИФУГ З ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

4.1 Підвищення якості покриттів, що наносяться методом ЕІЛ, при відновленні і зміцненні, зношених поверхонь деталей

Серед розглянутих вище (розд. 1) методів зміцнення та відновлення деталей на особливу увагу заслуговують електроіскрове легування (ЕІЛ) і нанесення металополімерних матеріалів (МПМ), які екологічно безпечні і останнім часом все частіше використовуються, як при виготовленні нових виробів, так і в ремонтному виробництві.

При виборі технологічного способу відновлення велике значення має величина максимального зносу, при якій деталь стає непридатною до експлуатації. У загальному випадку 85% деталей машин стають непридатними при зносі, що не перевищує $(0,2 \div 0,3) \cdot 10^{-3}$ м (див. Розд. 1).

Слід зазначити, що зі збільшенням режиму ЕІЛ (енергії розряду), як правило, знижується якість формованого покриття: зменшується суцільність, збільшується нерівномірність і шорсткість нанесеного шару, зростає кількість наскрізних пор і т.п.

Для підвищення якості, зміцнюваного або відновлюваного методом ЕІЛ поверхневого шару, нами запропоновано новий спосіб, при якому покриття наносять поетапно, причому на першому етапі наносять шар, використовуючи режими, які забезпечують найбільшу суцільність і товщину покриття, потім, тим же електродом виконують ЕІЛ з такою енергією розряду і відповідною їй продуктивністю, при якій формують поверхню з шорсткістю приблизно в 2-4 рази вище, ніж на попередньому етапі. В цьому випадку відбувається викид металу катода (деталі) в місцях прикладання імпульсів, тобто розпорошення найбільш виступаючих частин поверхні і на їх місці утворюються западини

новоутвореного покриття, глибина яких знаходиться на рівні поверхні попереднього покриття. В результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні (**патент UA Корисна модель №138052**).

Для опробування запропонованого способу, на установці моделі «Елітрон 52-А» на зразки, зі сталі 20 при різних режимах енергії розряду методом ЕЕЛ наносили покриття електродами з олов'яної бронзи марки БрО10Ф1, твердого сплаву Т15К6 і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т.

При цьому виготовляли три серії зразків:

- **1 серія** - покриття проводили в один етап: на один зразок наносили покриття на одному режимі;







- **2 серія** - покриття наносили в два етапи: перший при режимі, що забезпечує найбільшу суцільність і товщину покриття і другий на більш грубому, з шорсткістю в 2-4 рази більше ніж на попередньому;

- **3 серія** - покриття наносили в два етапи, в послідовності протилежній серії2.







Якісні параметри бронзових покриттів, сформованих відповідно до трьох серій, зведені в табл. 4.1. Як видно з таблиці при нанесенні олов'яної бронзи, згідно серії 1, найбільша товщина покриття (0,1 мм), при 100% суцільності, досягається при енергії розряду $W_p = 0,20$ Дж. Шорсткість поверхні при цьому становить $Rz = 21$ мкм. Подальше збільшення енергії розряду до $W_p = 0,35$ Дж тягне за собою поряд зі збільшенням товщини шару до 0,43 мм різке збільшення шорсткості поверхні до $Rz = 59$ мкм і зниження її суцільності до 80%. Подальше збільшення енергії розряду супроводжується ще більшим зростанням шорсткості поверхні і зниженням суцільності. Найбільша товщина шару, яка становить 0,92 мм, формується при $W_p = 0,90$ Дж. При цьому шорсткість поверхні і суцільність покриття дорівнюють, відповідно, $Rz = 98$ мкм і 60%. Подальше збільшення енергії розряду призводить до різкого зниження якості покриття (низька суцільність, висока шорсткість) і вигорання електроду.

Згідно з 2-ю серією першим шаром наносили олов'яну бронзу з суцільністю 100% і товщиною покриття 0,1 мм, при $W_p = 0,20$ Дж, а потім, другим шаром, при $W_p = 0,35$ і $0,55$ Дж коли шорсткість, відповідно, більше ~ в 3 і 4 рази ($R_z = 59$ і 82 мкм). При цьому загальна товщина шару становить, відповідно, 0,65 і 0,81 мм, шорсткість $R_z = 47$ і 58 мкм при 100% суцільності (табл. 4.1). Подальше збільшення енергії розряду при нанесенні другого шару до $W_p = 0,90$ Дж, при незначному збільшенні товщини шару, призводить до різкого збільшення шорсткості поверхні з $R_z = 58$ до $R_z = 81$ мкм.

Таблиця 4.1 – Залежність якісних параметрів бронзових покриттів, нанесених методом ЕЕЛ на сталь 20, від енергії розряду

Енергія розряду, W_p	Продуктивність, $\text{см}^2/\text{хв}$	Товщина шару, мм	Шорсткість, R_z , мкм	Суцільність, %	Зображення поверхні
1	2	3	4	5	6
Серія 1					
0,04	0,4	0,05	10	100	
0,11	1,5	0,06	12	100	
0,20	1,6	0,10	21	100	
0,35	1,7	0,43	59	80	
0,55	2,5	0,70	82	70	
0,90	3,4	0,92	98	60	

продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
Серія 2					
0,04 + 0,35	1-й етап 0,4 2-й етап 1,7	0,55	57	90	
0,2 + 0, 35	1-й етап 1,6 2-й етап 1,7	0,65	47	100	
0,2 + 0,55	1-й етап 1,6 2-й етап 2,5	0,81	58	100	
0,2 + 0,90	1-й етап 1,6 2-й етап 3,4	0,95	81	100	
Серія 3					
0,90 + 0,04	1-й етап 3,4 2-й етап 0,4	0,87	92	65	
0,90 + 0,20	1-й етап 3,4 2-й етап 1,6	0,74	85	75	









Результати якісних параметрів покриттів з БрО10Ф1 на сталі 20, виконаних поетапно, згідно серії 3, значно гірше, ніж у покриттів з 2-ї серії (суцільність 65-75%, шорсткість $R_z = 85-92$ мкм) при незначній відмінності товщини нанесеного шару.

Таким чином, відновлення сталевих деталей методом ЕІЛ електродом інструментом з олов'яної бронзи марки БрО10Ф1, необхідно проводити в два етапи, причому на першому формувати покриття при енергії розряду $W_p = 0,20$ Дж, а на другому при $W_p = 0,55$ Дж. В результаті отримаємо покриття товщиною 0,81 мм, суцільністю 100% і шорсткістю $R_z = 58$ мкм.

При нанесенні покриттів з твердого сплаву Т15К6 (див. Табл. 4.2) суцільність покриття 100% і товщина шару 0,12 мм досягається при енергії розряду $W_p = 0,55$ Дж. Шорсткість поверхні при цьому становить $R_z = 21$ мкм. Подальше збільшення енергії розряду призводить до зростання товщини шару

до 0,19 мм і значного зниження якості покриття (суцільність 85% і шорсткість Rz = 65 мкм).

Таблиця 4.2 – Залежність якісних параметрів покриттів з твердого сплаву Т15К6 і сталі 12Х18Н10Т, нанесених методом ЕІЛ на сталь 20

Енергія розряду, W _p	Продуктивність, см ² /хв	Товщина шару, мм	Шорсткість, Rz, мкм	Суцільність, %	Зображення поверхні
Твердий сплав Т15К6					
*0,55	2,5	0,12	21	100	
*0,90	3,4	0,19	65	85	
**0,55 + 0,90	1-й етап 2,5 2-й етап 3,4	0,20	37	100	
***0,90 + 0,55	1-й етап 3,4 2-й етап 2,5	0,14	54	90	
Сталь 12Х18Н10Т					
*0,35	1,7	0,08	11	95	
*0,55	2,5	0,14	31	80	
**0,35 + 0,55	1-й етап 1,7 2-й етап 2,5	0,12	17	100	
***0,55 + 0,35	1-й етап 2,5 2-й етап 1,7	0,8	34	80	

*- покриття наносили згідно 1-ї серії; ** - покриття наносили згідно 2-ї серії; *** покриття наносили згідно 3-ї серії.

При формуванні покриття поетапно, згідно запропонованого способу, з використанням спочатку енергії розряду $W_p = 0,55$ Дж, а потім $W_p = 0,90$ Дж товщина шару становить 0,20 мм при 100% суцільності і шорсткості $Rz = 37$ мкм. Нанесення покриття в зворотному порядку: спочатку з $W_p = 0,90$ Дж, а потім з $W_p = 0,55$ Дж призводить до зниження його суцільності до 90% і зростанню шорсткості до $Rz = 54$ мкм.









У табл. 4.2 представлені результати якісних параметрів покриттів при ЕЕЛ сталі 20 електродом інструментом з нержавіючої сталі 12X18H10T. Як видно з таблиці найбільша суцільність покриття 95% і товщина шару 0,08 мм досягається при енергії розряду $W_p = 0,35$ Дж. Шорсткість поверхні при цьому становить $Rz = 11$ мкм. Подальше збільшення енергії розряду призводить до зростання товщини шару до 0,14 мм і значного зниження якості покриття (суцільність 80% і шорсткість $Rz = 31$ мкм).

При формуванні покриття поетапно, згідно запропонованого способу, з використанням спочатку енергії розряду $W_p = 0,35$ Дж, а потім $W_p = 0,55$ Дж товщина шару становить 0,12 мм при суцільності, що наближається до 100% і шорсткості $Rz = 17$ мкм. Нанесення покриття в зворотному порядку призводить до зниження його суцільності до 80% і зростанню шорсткості до $Rz = 34$ мкм.

З огляду на те, що основним матеріалом, який застосовують при виготовленні центрифуг типу ОГШ, експлуатація яких передбачає контакт з окисними середовищами, органічними розчинниками і неорганічними кислотами помірної концентрації, є хромонікелева нержавіюча сталь 12X18H10T, запропонований спосіб був апробований на зразках, виготовлених з цієї сталі. При цьому, в якості матеріалу електродів, що використовуються для нанесення покриттів, застосовували сталь 12X18H10T і твердий сплав Т15К6. При нанесенні покриттів використовували різні режими установки моделі «Елітрон - 52А».

Результати досліджень якісних параметрів покриттів зведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Залежність якісних параметрів покриттів з твердого сплаву Т15К6 і сталі 12Х18Н10Т, сформованих методом ЕІЛ на сталі 12Х18Н10Т від режимів легування

Енергія розряду, W_p	Продуктивність $m^2/xв$	Товщина шару, мм	Шорсткість, Rz, мкм	Суцільність, %	Зображення поверхні
Твердий сплав Т15К6					
*0,55	2,5	0,14	23	100	
*0,90	3,4	0,21	65	85	
**0,55 + 0,90	1-й етап 2,5 2-й етап 3,4	0,22	37	100	
***0,90 + 0,55	1-й етап 3,4 2-й етап 2,5	0,15	54	90	
Сталь 12Х18Н10Т					
*0,35	1,7	0,09	13	95	
*0,55	2,5	0,15	31	80	
**0,35 + 0,55	1-й етап 1,7 2-й етап 2,5	0,22	17	100	
***0,55 + 0,35	1-й етап 2,5 2-й етап 1,7	0,11	34	80	

*- покриття наносили згідно 1-ї серії; ** - покриття наносили згідно 2-ї серії; *** покриття наносили згідно 3-ї серії.

Таким чином, відновлення сталевих деталей методом ЕІЛ, з використанням електродів інструментів з твердого сплаву Т15К6 і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, найбільш доцільно проводити в два етапи, згідно запропонованого способу.

Результати проведених досліджень можуть бути застосовані в технологіях відновлення вузлів підшипників кочення (посадочних місць для внутрішніх і зовнішніх поверхонь підшипників кочення).

4.2 Удосконалення технології відновлення зношених поверхонь деталей методом ЕІЛ з подальшим нанесенням МПМ

Відновлення зношених поверхонь деталей тіл обертання

Резервом збільшення товщини покриття при відновленні зношених поверхонь деталі може бути інтегрована технологія, що складається з методу ЕІЛ і подальшого нанесення МПМ. Переваги інтегрованої технології ЕІЛ + МПМ в достатній мірі описані в розд. 1. В даному випадку окремо взяті технології ні в якій мірі не знижують переваг однієї передіншою, а доповнюють їх і усувають недоліки, властиві кожній технології окремо.

Незважаючи на незаперечні переваги, інтегрована технологія ЕІЛ + МПМ має і недоліки. Це, перш за все:

- зниження твердості і міцності сформованого поверхневого шару, що складається тільки з МПМ, який знаходиться вище покриття, нанесеного методом ЕІЛ;

- металополімерні матеріали добре працюють на стиск і значно гірше на зрушення, що негативно впливає на їх застосування для відновлення поверхонь тертя.

Основне застосування інтегрованої технології ЕІЛ + МПМ це відновлення поверхонь деталей в нероз'ємних з'єднаннях (посадочних місць під підшипники, напівмуфти і ін.).

З метою усунення вище зазначених недоліків і, таким чином, вдосконалення інтегрованої технології відновлення деталей, виконуваної в послідовності ЕІЛ → МПМ, запропоновано новий спосіб, який включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття ЕІЛ металевим електродом. Потім на отриману поверхню наносять МПМ, який перед полімеризацією армують шаром, дроту (**патент UA на винахід № 117980**).

В даному випадку на зношену поверхню деталі **1** (рис. 4.1, а) методом ЕІЛ наноситься шар **3** покриття з будь-якого твердого зносостійкого металу (хром, нікель і ін.). При цьому між нанесеним металом і деталлю утворюється перехідний шар **2**, що представляє собою взаємне дифузійне проникнення елементів анода і катода. Покриття можна наносити, варіюючи енергію розряду в діапазоні 0,036 - 6,8 Дж. З ростом енергії розряду збільшується товщина покриття і шорсткість поверхні. Після цього на ЕІЛ поверхню наноситься металополімерний матеріал **4**.

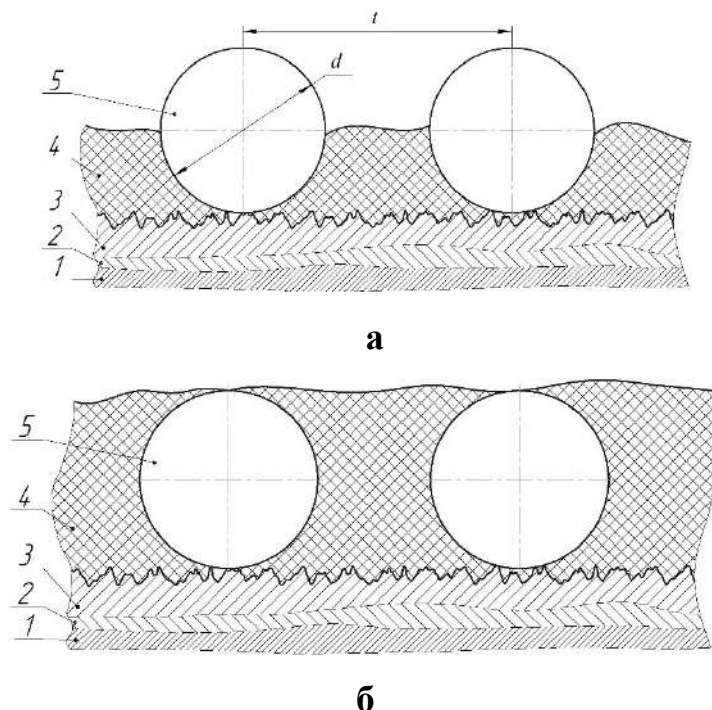


Рисунок 4.1 - Відновлення зношених поверхонь тіл обертання комбінованою технологією ЕІЛ + МПМ (армування дротом)

Шар МПМ ретельно втирається лопаткою або шпателем в поверхню відновлюваної деталі. Попадання при такому втиранні МПМ у западини і мікронерівності відновлюваної деталі з одного боку забезпечує поліпшення адгезії, а з іншого - виключає ймовірність утворення джерел корозії в цих западинах. Керуючись основною концепцією застосування МПМ, що полягає в тому, що його робочий шар не повинен бути менше 1-1,5 мм крок навивки (t) 5 дроту на шийку шнека складатиме:

$$t = d + 1 - 1,5 \text{ мм}, \quad (4.1)$$

де d – діаметр дроту.

Після навивки дроту необхідно продовжити нанесення МПМ до тих пір, поки його шар не закриє дріт повністю (рис. 4.1, б).

В даному випадку, для відновлення зношених поверхонь можна використовувати дріт з: хрому, нікелю, сталі 12Х18Н10Т і ін.

Затверділий металополімерний матеріал можна обробляти будь-яким з відомих способів, включаючи шліфування або обробку лезовим інструментом.

При відновленні твердої зносостійкої зношеної поверхні деталей тіл обертання нанесений шар МПМ, перед полімеризацією армують шляхом розміщення на ньому з натягом пружини, виконаної з дроту, виготовленого з твердого зносостійкого матеріалу, наприклад, сталі 65Г, 9ХВ2С, берилієвої бронзи БрБ2, що пройшла термообробку. Причому, застосовують пружину з кроком намотування не менше 1,0 - 1,5 мм.

При відновленні зношеної шийки шнека можна використовувати пружину зі сталі 12Х18Н10Т (рис. 4.2).

В даному випадку на зношену поверхню шийки під підшипник (рис. 4.2, а) методом ЕІЛ наноситься шар покриття з будь-якого твердого зносостійкого металу (хром, нікель і ін.), після чого, проводиться нанесення хоча-б одного шару МПМ і не чекаючи його висихання, з натягом одягається пружина зі сталі 12Х18Н10Т (рис. 4.2, б). Після цього проводиться нанесення декількох шарів МПМ до повного покриття пружини (рис. 4.2, в). Затверділий МПМ

обробляють будь-яким з відомих способів, включаючи шліфування або обробку лезовим інструментом (рис. 4.2, г).

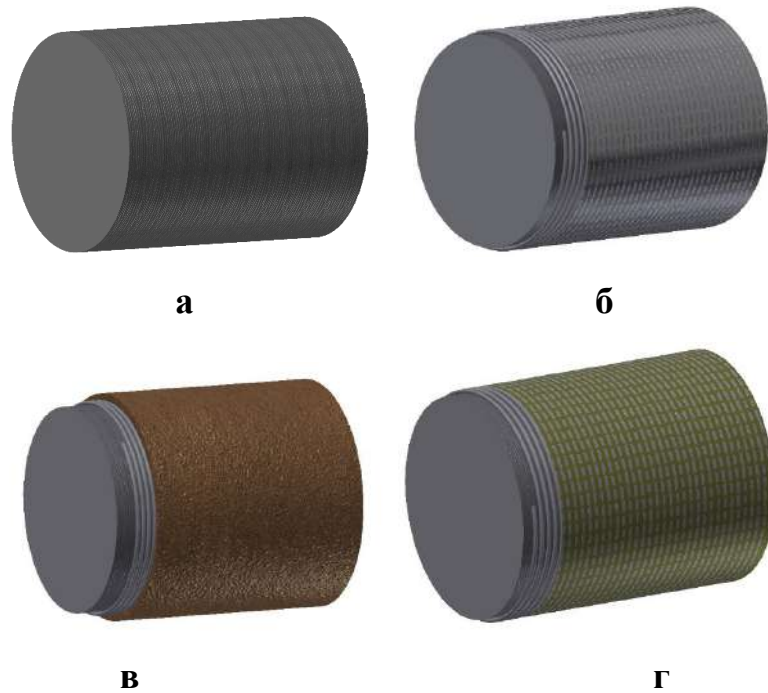


Рисунок 4.2 - Відновлення зношених поверхонь тіл обертання комбінованою технологією ЕІЛ + МПМ (армування пружиною)

Таким чином, застосування розробленої інтегрованої технології відновлення деталей, виконуваної в послідовності ЕІЛ → МПМ, дозволяє збільшити міцність і зносостійкість сформованих покриттів.

Відновлення зношених плоских і криволінійних поверхонь

Нерідко виникає необхідність відновлення плоских і криволінійних зношених поверхонь деталей з твердих зносостійких металів, наприклад, корпусів насосів, компресорів, центрифуг, редукторів і ін. (Рис. 4.3)



Рисунок 4.3 - Нижня частина корпусу відцентрового компресора після довгих років експлуатації

В даному випадку, після нанесення методом ЕІЛ на проточену зношену поверхню **1** (рис. 4.4) покриття накладають сітку, яка виготовляється з термообробленого твердого дроту з розмірами вічка не менше 1,0-1,5 X 1,0-1,5 мм (рис. 4.4).

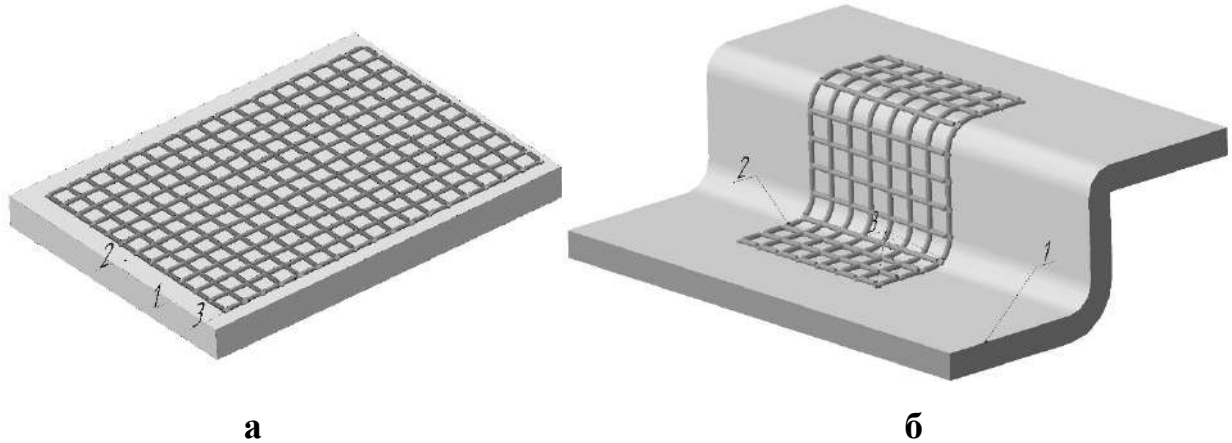


Рисунок 4.4 - Відновлення зношених плоских (**а**) і криволінійних (**б**) поверхонь

При цьому товщина нанесеного МПМ повинна забезпечувати покриття дротів (**2**) сітки хоча б до половини їх діаметру (рис. 4.1, **б**). Сітка може прикріплятися за межами відновлюваної поверхні будь-яким відомим способом, наприклад, приклеюю (3). Після установки сітки необхідно продовжити нанесення МПМ до тих пір, поки він повністю не закриє її (рис. 4.1, **в**). У разі значного зносу накладання сітки можна повторювати необхідну кількість разів.

Таким чином, в результаті застосування запропонованого способу відновлення зношених поверхонь деталей, формується шар, якість, зносостійкість, надійність і довговічність якого вище, ніж при використанні для відновлення методів ЕІЛ і нанесення МПМ кожного окремо. Запропонований екологічно і техногенно безпечний спосіб може бути застосований при зносі, як посадочних поверхонь шнеків, задіяних в переробці та утилізації гною так і плоских і криволінійних поверхонь корпусу центрифуги типу ОГШ.

4.3 Удосконалення технології відновлення і одночасного зміцнення зношених поверхонь деталей нанесенням КЕП

Основними технологіями створення багатошарових поліфункціональних покриттів із застосуванням методу ЕІЛ є: нанесення багатошарових покриттів тільки методом ЕІЛ і нанесення комбінованих покриттів за участю інших зміцнюючих технологій. Багатошарові і КЕП, за допомогою яких можна формувати поверхневий шар деталі з необхідними властивостями, є резервом підвищення його якості.

Слід зазначити, що при ЕІЛ зміцнений поверхневий шар зі зміненою структурою і властивостями може формуватися як за рахунок цементації, при використанні електрода інструменту з графіту, так і при нанесенні покриттів з тугоплавких зносостійких металів або їх комбінації з м'якими антифрикційними металами (див. розд.1).

Слід зазначити, що товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару має велике значення для деталей пар тертя і завдання її збільшення залишається актуальною.

Таким чином, виникає необхідність встановлення закономірностей формування КЕІЛ в умовах чергування легуючих електродів для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т шарів з різних матеріалів: вуглецю, алюмінію, твердого сплаву Т15К6, а також вивчити мікроструктуру, хімічний склад і властивості покриттів.

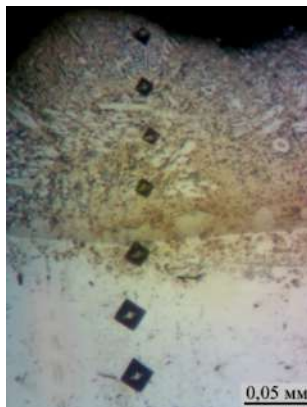
З метою отримання комплексних покриттів на сталі 12Х18Н10Т легування здійснювали в такій послідовності:

- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + ЭИЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж + ЭИЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж.

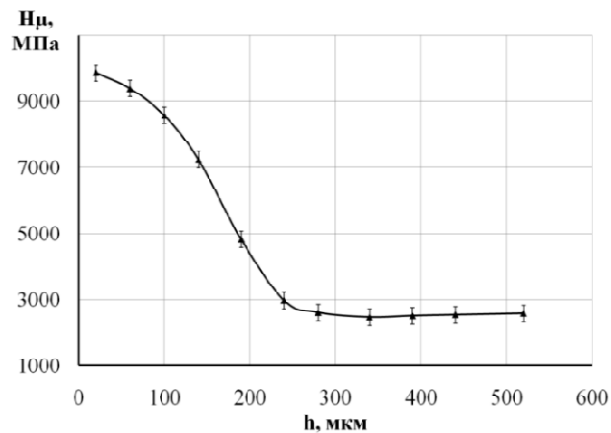
На рис. 4.5 представлена мікроструктура і розподіл мікротвердості поверхневого шару сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ з енергією розряду (W_p), що дорівнює 3,4 Дж.

Металографічний аналіз отриманих покриттів показав, що мікроструктура складається з 3-х зон: зміцнений шар, дифузна зона, основний метал, що має структуру аустеніту.

Зміцнений шар нерівномірний за величиною, і становить 90-160 мкм. ДюрOMETричні дослідження показали, що шар після ЦЕІЛ має підвищену твердість 9000-9500 МПа. В середньому глибина шару підвищеної твердості становить ~ 100 мкм.



а



б

Рисунок 4.5 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ з $W_p = 3,4$ Дж

На рис. 4.6 представлені результати електронномікроскопічних досліджень - ділянки поверхневого шару сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ з $W_p = 3,4$ Дж, а також розподіл по глибині шару вуглецю та інших елементів: хрому, заліза, нікелю і титану, що входять до складу сталі.

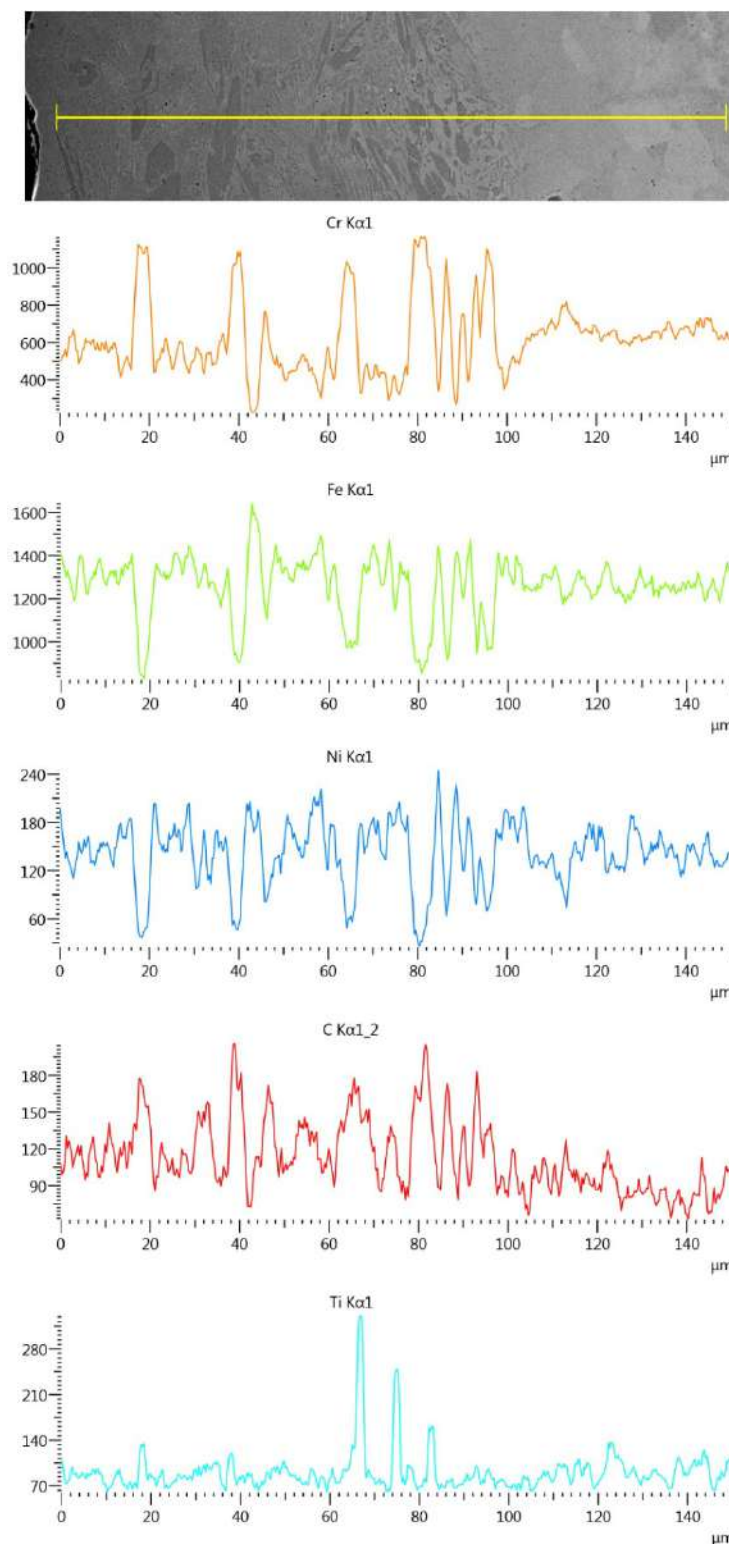


Рисунок 4.6 – Розподіл елементів в поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ, $W_p = 3,4$ Дж

На рис. 4.6 видно, що підвищений вміст вуглецю в поверхневому шарі, зберігається до 100 мкм, що узгоджується з даними металографічних і дюрOMETричних досліджень (рис. 4.5).

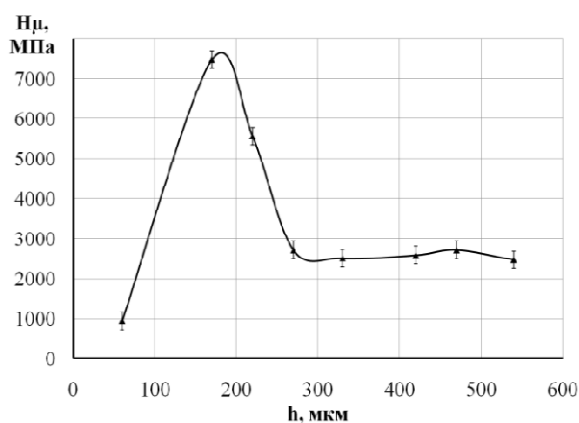
Металографічний аналіз комплексних покриттів С + Al, отриманих методом ЕІЛ, показав, що вони складаються з 4-х зон (рис. 4.7):

- 1) м'який (темний);
- 2) зміцнений (світлий);
- 3) дифузійна зона;
- 4) основний метал.

На поверхні зразка розташований нерівномірний м'який і пористий шар, товщина якого становить на різних ділянках 70 - 100 мкм, а мікротвердість знаходиться в межах 1000-2500 МПа. Під ним розташований світлий шар, з мікротвердістю до 7500 МПа, його товщина 80 - 120 мкм.



а



б

Рисунок 4.7 - Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм

Результати локального мікрорентгеноспектрального аналізу зразків з квазібагатошаровим покриттям (ЦЕІЛ + ЕІЛ алюмінієм) свідчать про те, що при ЕІЛ алюміній дифундує в сталеву підкладку на глибину до 100 мкм (рис. 4.8). Наявність елементів, що входять до складу сталі 12Х18Н10Т (Fe, Cr, Ni, Ti) на поверхні мінімальна, а на відстані 80-100 мкм відповідає марочному складу.

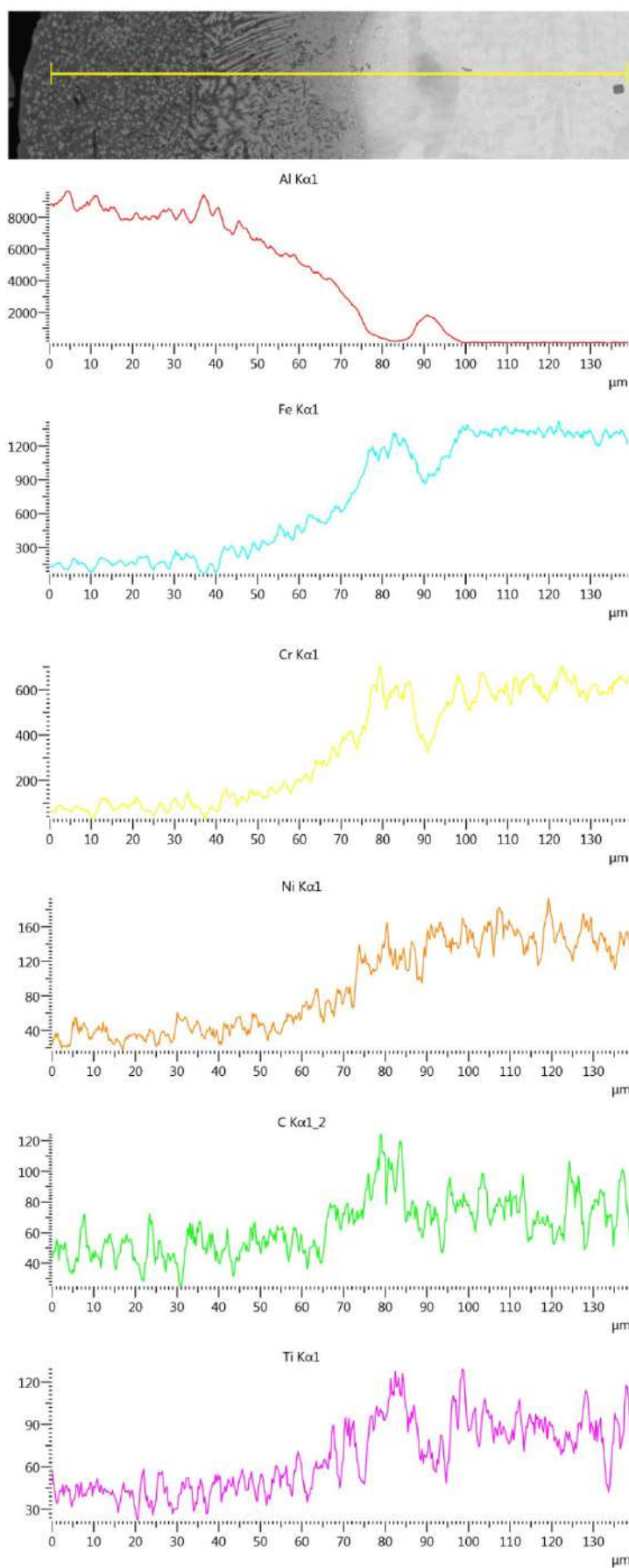
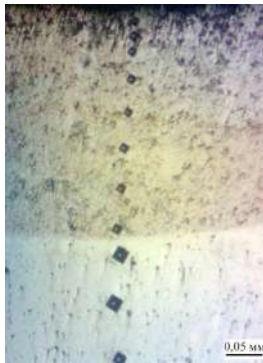
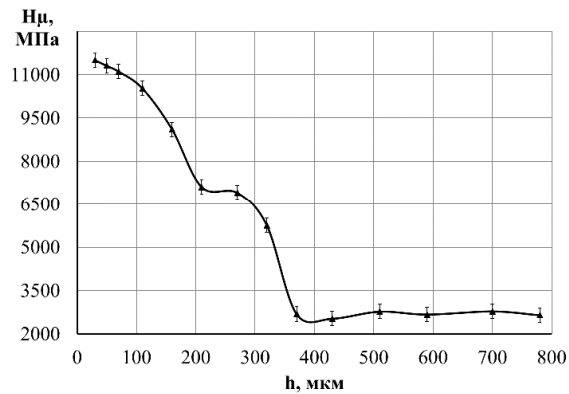


Рисунок 4.8 - Розподіл елементів в поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм

При послідовному легуванні сталі по схемі ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж формується масивний зміцнений шар товщиною 320-360 мкм з максимальною мікротвердістю на поверхні 10500-11500 МПа (рис. 4.9).



а



б

Рисунок 4.9 - Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ, ЕІЛ алюмінієм і ЕІЛ твердим сплавом Т15К6

Мікрорентгеноспектральний аналіз показав (рис. 4.10), що в результаті послідовного ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж алюміній дифундує на глибину до 320 мкм, проте його частка зменшується. Вольфрам, як основний елемент твердого сплаву Т15К6, дифундує на глибину до 270 мкм, а вуглець - до 270 мкм. ЕІЛ за описаною технологією дозволяє збільшити дифузійну зону вуглецю і алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару.

Дослідження показали, що при ЕІЛ за схемою ЦЕІЛ → ЕІЛ Т15К6 (без ЕІЛ алюмінієм) не вдається досягти необхідного значення мікротвердості (рис. 4.11) - на поверхні H_μ становить 9000 МПа і в міру віддалення від поверхні плавно знижується до мікротвердості основи, порядку 2500- 2600 МПа. Товщина шару підвищеної твердості становить 200 - 220 мкм, що на 100 мкм менше, ніж в результаті ЕІЛ в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 (рис. 4.9). Суцільність шару складає $\sim 100\%$.

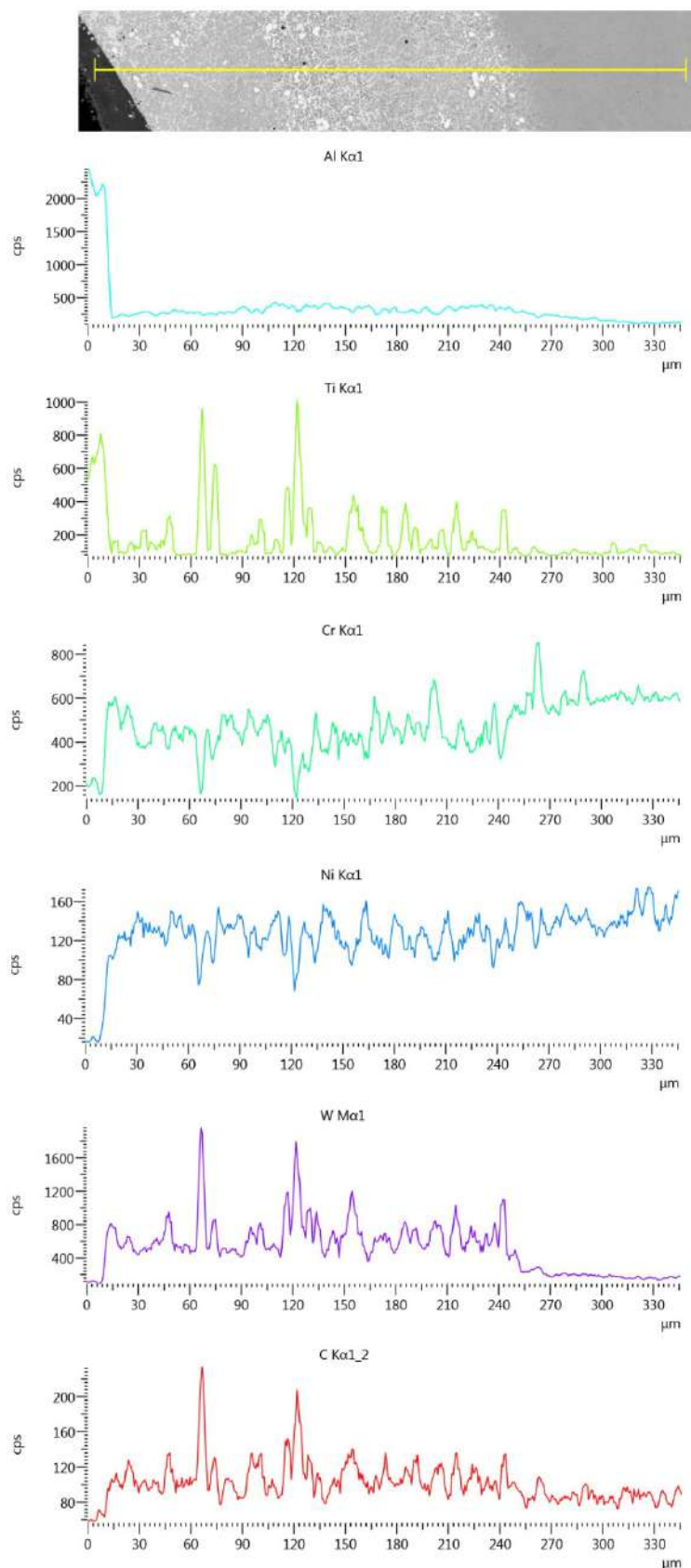
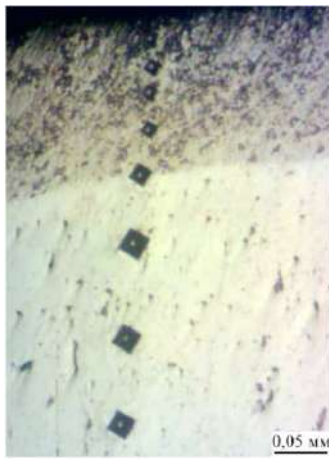
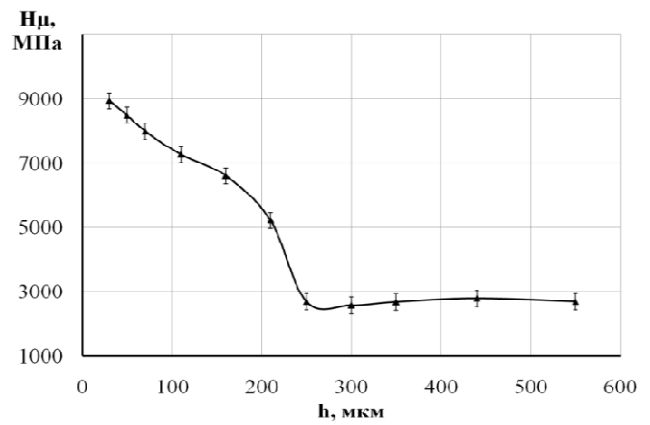


Рисунок 4.10 - Розподіл елементів в поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ, ЕІЛ алюмінієм і твердим сплавом Т15К6



а



б

Рисунок 4.11 - Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ і ЕІЛ твердим сплавом Т15К6

На рис. 4.12 представлені результати дослідження розподілу елементів по глибині шару, отриманого після ЦЕІЛ і ЕІЛ електродом з твердого сплаву Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж. Вольфрам дифундує на глибину до 125 мкм, а шар з підвищеним вмістом вуглецю становить ~ 120 мкм.

Результати металографічних і дюрOMETричних досліджень покриттів, отриманих на сталі 12Х18Н10Т, зведені в табл. 4.4. Дослідження показали, що найбільша товщина зони підвищеної твердості спостерігається в поверхневих шарах, сформованих в послідовності ЦЕІЛ \rightarrow ЕІЛА1 \rightarrow ЕІЛ Т15К6. Шар з алюмінію сприяє збільшенню товщини покриття, а також збільшення мікротвердості.

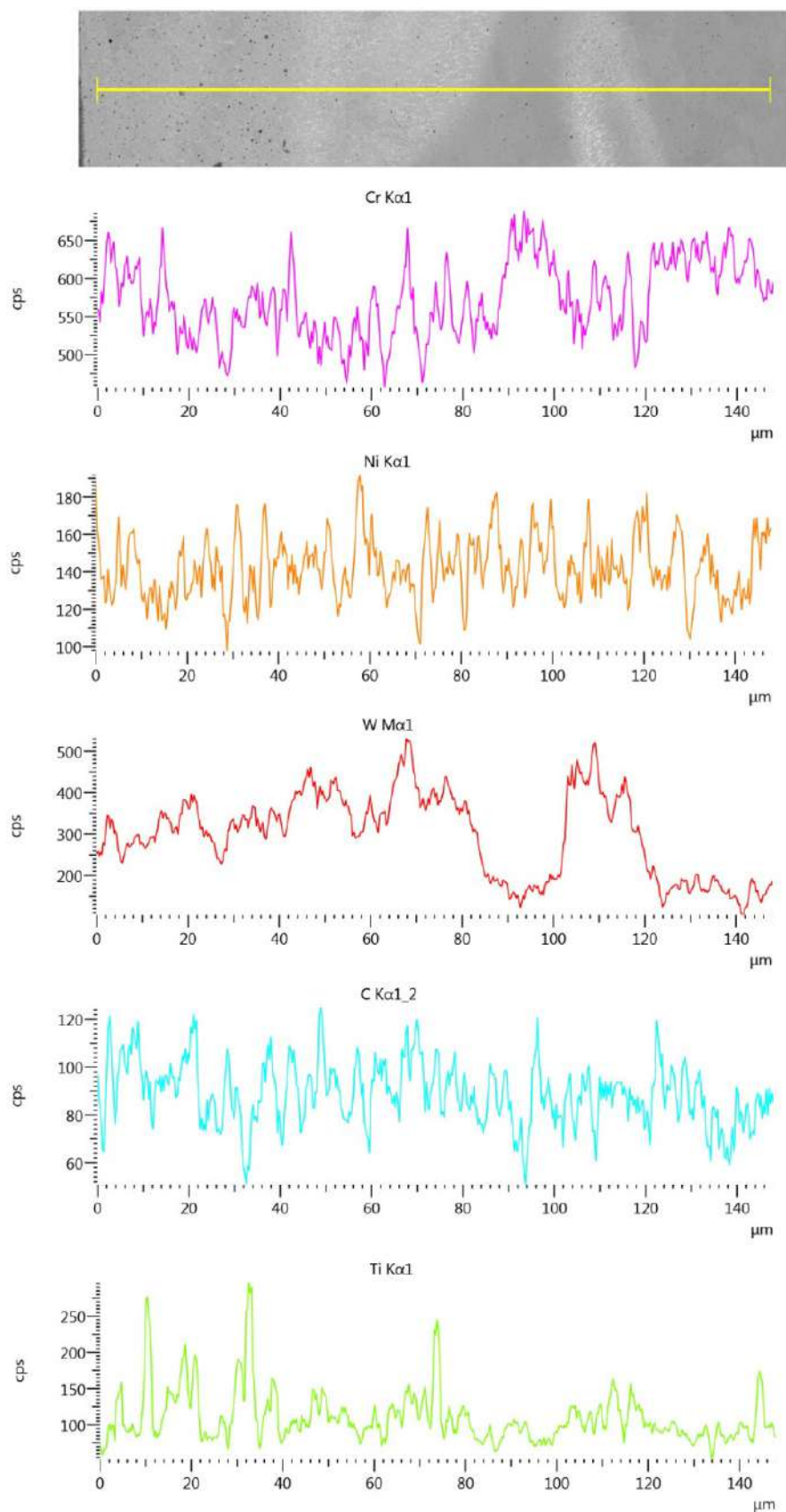


Рисунок 4.12 - Розподіл елементів в поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ і ЕІЛ електродом інструментом з твердого сплаву Т15К6

Таблиця 4.4 - Якісні параметри квазібагатошарових покриттів на сталі 12X18H10T

Матеріал електрода - інструменту	Товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару, мкм	Максимальна мікротвердість зміцненого поверхневого шару, МПа	Шорсткість поверхні, Ra, мкм
C	90-160	9500	9,5
C + Al	80-120	7500	25,5
C+Al+T15K6	320-360	11500	7,5
C + T15K6	140-220	9000	8,5

Таким чином, на підставі проведених досліджень, встановлено закономірності формування багатошарових покриттів при ЕІЛ в умовах чергування легуючих електродів (графіт, алюміній і твердий сплав Т15К6) для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12X18H10T. Запропоновано новий спосіб (**патент на корисну модель №136895 Україна**) захисту сталевих виробів від абразивного та інших видів зносу. Спосіб здійснюють шляхом нанесення на поверхні, що зношуються, після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм, зносостійких покриттів з тугоплавких зносостійких металів, які обирають з групи: Ti, V, W і їх карбідів. Такі покриття забезпечують отримання мікротвердості поверхневого шару >11500 МПа, з зоною підвищеної твердості 320-360 мкм і шорсткість поверхні 7,5 мкм. ЕІЛ за описаною технологією дозволяє збільшити дифузну зону вуглецю і алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару.

4.4 Розробка комбінованої технології ЕІЛ + МПМ + ЛО відновлення деталей

Описаний вище (підрозділ 4.2) спосіб відновлення зношених поверхонь деталей ЕІЛ з подальшим нанесенням МПМ, армованого дротом, незважаючи на ряд позитивних результатів, не позбавлений недоліків, основними з яких є:

нерівномірний розподіл армуючого матеріалу, як по вертикальній, так і по горизонтальній площині відновлюваної поверхні; значна неоднорідність структури поверхневого шару та ін.

Зазначені недоліки усуваються за рахунок застосування комбінованої технології, що включає метод ЕІЛ, нанесення МПМ армованого металевим порошком з твердого сплаву ВК6 і ЛО.

При нанесенні покриттів з твердого сплаву Т15К6 (див. таб. 4.3) суцільність покриття 100% і товщина шару 0,14 мм досягається при енергії розряду $W_p = 0,55$ Дж. Шорсткість поверхні при цьому становить $R_z = 23$ мкм.

На рис. 4.13 зображені структури зразків сталі 12Х18Н10Т після ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 (а) і ЕІЛ Т15К6 з подальшим нанесенням композиційного матеріалу, що складається з МПМ і порошку твердого сплаву ВК6 (в), а також розподіл мікротвердості, сформованих покриттів в міру поглиблення з поверхні (б).

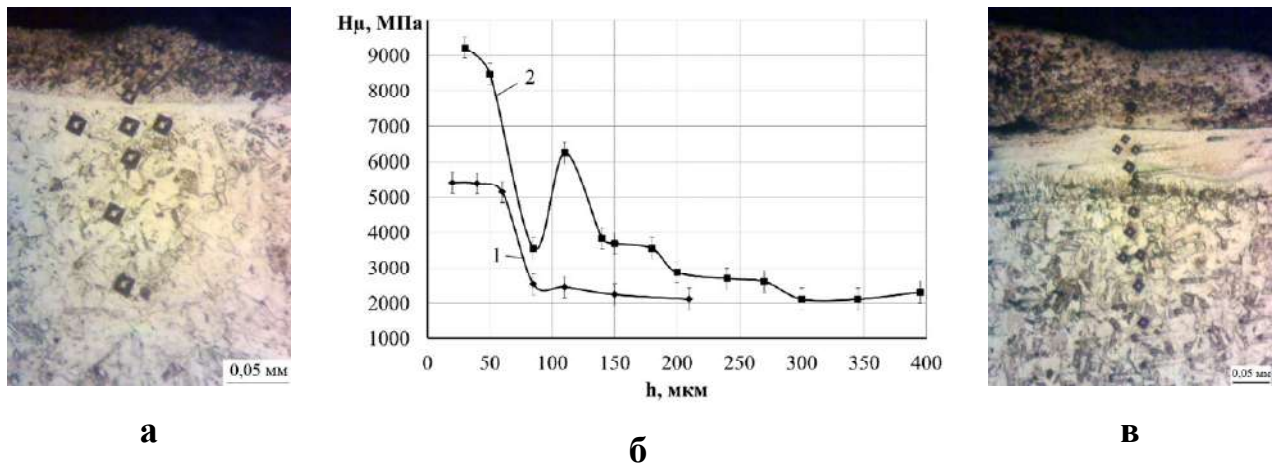


Рисунок 4.13 – Структури сталі 12Х18Н10Т після ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 (а), ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 + (МПМ + порошок твердого сплаву ВК6) (в) і розподіл мікротвердості, сформованих покриттів в міру поглиблення з поверхні (б): 1 - ЕІЛ твердим сплавом Т15К6; 2 - ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 + (МПМ + порошок твердого сплаву ВК6)

Аналіз мікроструктур показав, що після ЕІЛ сталі 12Х18Н10Т твердим сплавом Т15К6 (рис. 4.13, а) структура поверхневого шару складається з трьох зон. На поверхні розташована зона темного кольору товщиною до 80 мкм,

мікротвердість якої знаходиться не більше 5000 - 5400 МПа. Нижче, по мірі поглиблення, розташована перехідна зона, більш світлого кольору, мікротвердість в якій плавно знижується і, на глибині ~ 200 мкм відповідає мікротвердості основи.

При подальшому нанесенні композиційного матеріалу, що складається з МПМ і порошку твердого сплаву ВК6 (в) поверхневий шар складається з 4-х зон. На поверхні розташована зона темного кольору товщиною до 120 мкм, мікротвердість якої знаходиться в межах 6200 - 9200 МПа. На кордоні з другою зоною мікротвердість становить 3600-3700 МПа. Нижче, у міру поглиблення, розташована зона світлого кольору, товщиною до 90 мкм, мікротвердість якої становить близько 3200 МПа. Ще нижче мікротвердість плавно знижується, і на глибині ~ 280 мкм відповідає мікротвердості основи.

В результаті електронно-мікроскопічних досліджень отримана структура комбінованого покриття, сформованого на сталі 12Х18Н10Т, з твердого сплаву Т15К6 і подальшого нанесення консистентної речовини, що складається з МПМ і твердосплавної суміші ВК6 (рис. 4.14).

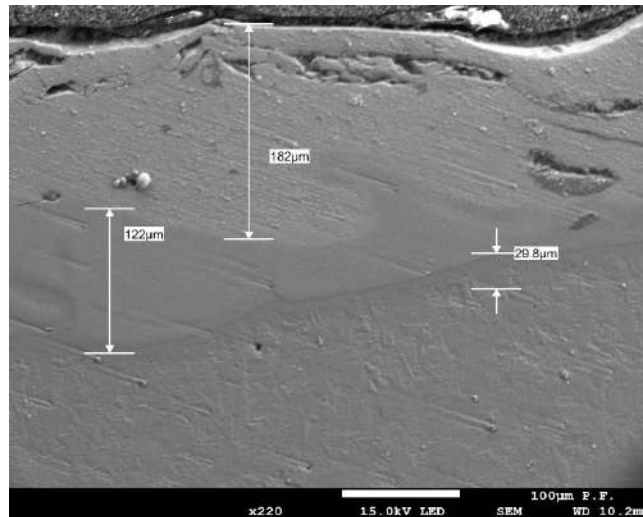


Рисунок 4.14 - Ділянка покриття з твердого сплаву Т15К6 і ВК6 на сталі 12Х18Н10Т в площині перпендикулярній сформованому шару. х 2000

На рис. 4.14 чітко проглядаються 4 зони. На поверхні розташовується світліша зона змінної товщини (160 - 180 мкм), що складається з МПМ і твердосплавної суміші ВК6. Нижче зона більш темного кольору, товщина якої досягає 120 мкм, сформована в результаті поетапного нанесення на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т твердого сплаву Т15К6. Нижче, зона ще більш темного кольору, товщиною 20-30 мкм, ймовірно, це перехідна або дифузійна зона. І ще нижче зона, що складається з матеріалу основи.

У роботі досліджувався хімічний склад отриманих покриттів. На рис. 4.15 зображено розподіл елементів по глибині шару. Результати мікрорентгеноспектрального аналізу свідчать про підвищений вміст в поверхневому шарі (глибиною до 240 мкм) вольфраму і титану, збільшення кількості яких пояснюється входженням цих елементів до складу твердосплавних електродів. На цій же ділянці відзначається знижений вміст заліза, хрому і нікелю - основних елементів сталевий підкладки. Вміст вуглецю і кисню максимальний на поверхні, в міру поглиблення їх кількість плавно знижується до глибини 240 і 170 мкм, відповідно, до їх вмісту в основному металі.

Мікроструктурний аналіз отриманих покриттів показав, що на всіх режимах лазерної обробки поверхневий шар складається з 3-х зон: 1 - приповерхневий «темний» шар, 2 - «світлий» шар і 3 - основний метал. Товщина і мікротвердість отриманих шарів визначається параметрами ЛО.

Мікроструктура покриттів, отриманих за режимом 1, характеризується наявністю тонкого «темного» шару (до 10 мкм), який має найвищу мікротвердість 6110 МПа (рис. 4.16). Шар тонкий і не рівномірний по товщині, його суцільність близько 65%. Другий шар - «світлий», відрізняється зниженим трюєнням в суміші концентрованих азотної і соляної кислот (царська горілка) і має твердість до 2650 МПа, його середня товщина близько 100 мкм, суцільність 100%. Металографічний аналіз показав, що перехідний шар між «світлим» шаром і основним металом не виражений, а також мікротвердість

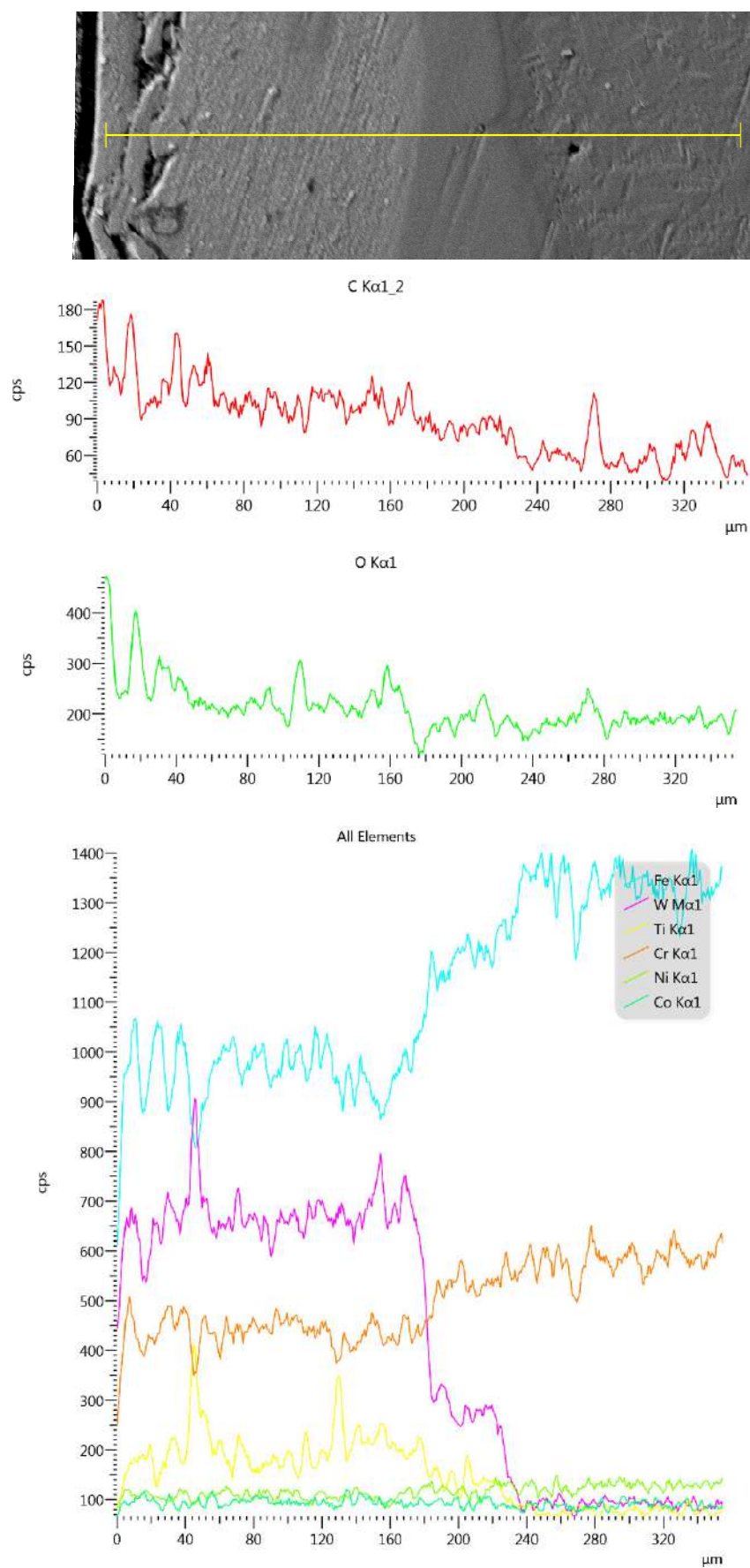
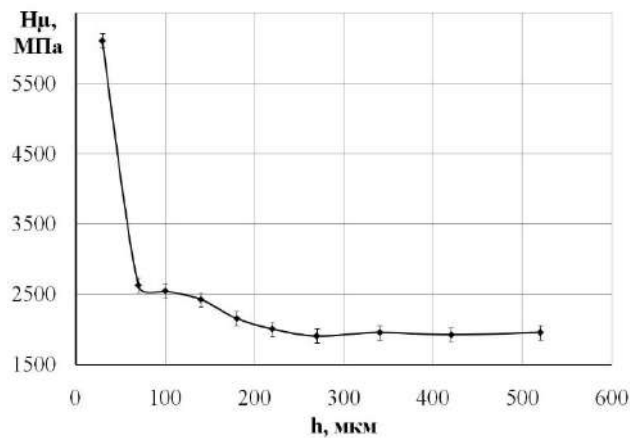


Рисунок 4.15 – Розподіл елементів в покритті з твердого сплаву Т15К6 і ВК6 на сталі 12Х18Н10Т

«світлого» шару мало відрізняється від твердості основного металу, що пов'язано, мабуть, із застосуванням «м'яких» режимів ЛО (табл. 4.5).



а



б

Рисунок 4.16 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з покриттям ЕЕЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6) після ЛО по режиму 1

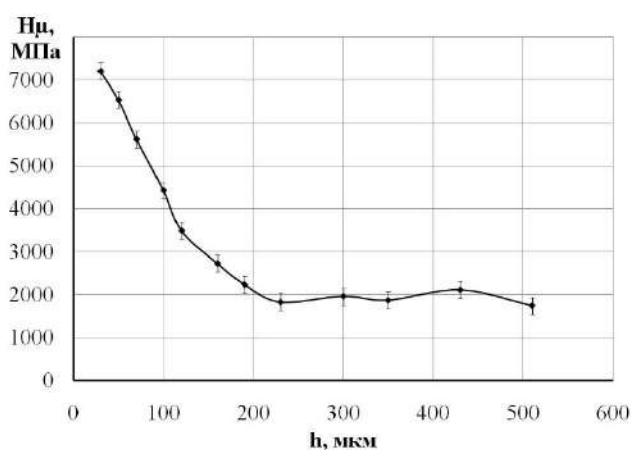
В результаті застосування ЛО по режиму 2 товщина і мікротвердість сформованих зон в покритті збільшуються (табл. 4.5): зовнішній «темний» шар (товщиною до 40 мкм), має найвищу твердість до 7200 МПа; 2-й «світлий» шар має товщину близько 130 мкм і твердість ~ 3200-4500 МПа. Отримані шари на даних режимах обробки характеризуються підвищеною суцільністю (до 100%) і рівномірністю по структурі і товщині (рис. 4.17).

Таблиця 4.5 – Параметри поверхневого шару зразка сталі 12Х18Н10Т з покриттям ЕЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6)

№ режиму	Товщина шару, мкм темний / світлий	Мікротвердість шару, МПа темний / світлий	Суцільність темного шару, %	Суцільність світлого шару, %
1	10 / 100	6110 / 2650	65	100
2	40 / 130	7200 / 4500-3200	90-95	
3	50 / 190	8900 / 6500	90-95	
4	100 / 230	9250 / 7250	100	
5	420 / 260	10000-7400 / 7300	100	



а



б

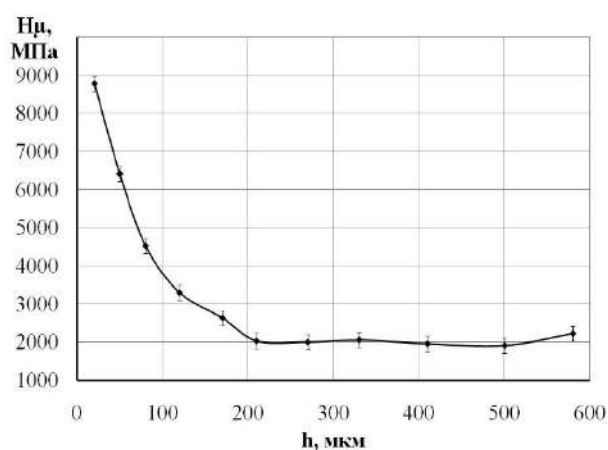
Рисунок 4.17 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з покриттям ЕЕЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6) після ЛО по режиму 2

Збільшення товщини і мікротвердості зміцненого шару при обробці по режиму 2 (табл. 3.3) можна пояснити зниженням частоти від 100 до 50 Гц.

При обробці за режимом 3 зовнішній «темний» шар (товщиною до 50 мкм), має мікротвердість до 8900 МПа; 2-й шар має товщину близько 190 мкм, в цій зоні мікротвердість максимальна на кордоні з першою зоною (близько 6500 МПа) і знижується в міру поглиблення (рис. 4.18).



а



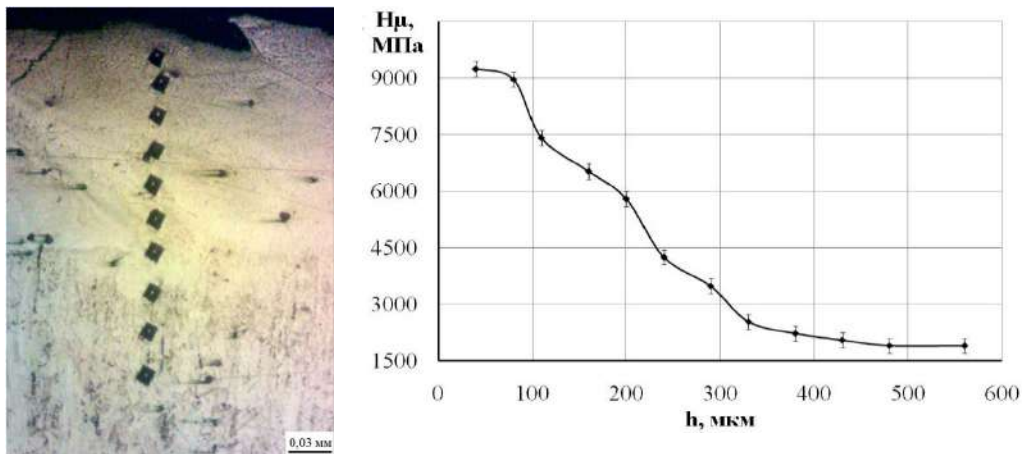
б

Рисунок 4.18 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з покриттям ЕЕЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6) після ЛО по режиму 3.

Дослідження показали, що зі збільшенням імпульсу лазера від $0,3 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ (табл. 3.3), відповідно при режимах 2 і 3, товщина і мікротвердість зміцненого шару збільшуються (табл. 4.5).

Результати металографічних досліджень покриттів, отриманих на режимі 4, показали, що покриття «темний» шар має товщину до 100 мкм, характеризується максимальною мікротвердістю до 9250 МПа і суцільністю 100% (рис. 4.19).

Зі збільшенням напруги (від 500 до 550 В при режимі 3 і 4, відповідно, збільшується товщина і мікротвердість отриманих шарів. Так, «світлий» шар має товщину близько 230 мкм, мікротвердість 6000-7250 МПа, величина якої знижується в міру заглиблення.



а

б

Рисунок 4.19 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) за глибиною шару зразка сталі 12Х18Н10Т з покриттям ЕІЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6) після ЛО по режиму4.

Мікроструктура шару, отриманого на 5-му режимі, як і при інших режимах обробки, характеризується наявністю 3-х зон: зовнішній «темний» шар (найтовщіший до 420 мкм) має характерну пористу будову (рис. 4.20), його твердість варіюється між значеннями 6100-7300 МПа, спостерігаються окремі ділянки твердістю до 10 ГПа (рис. 4.21).

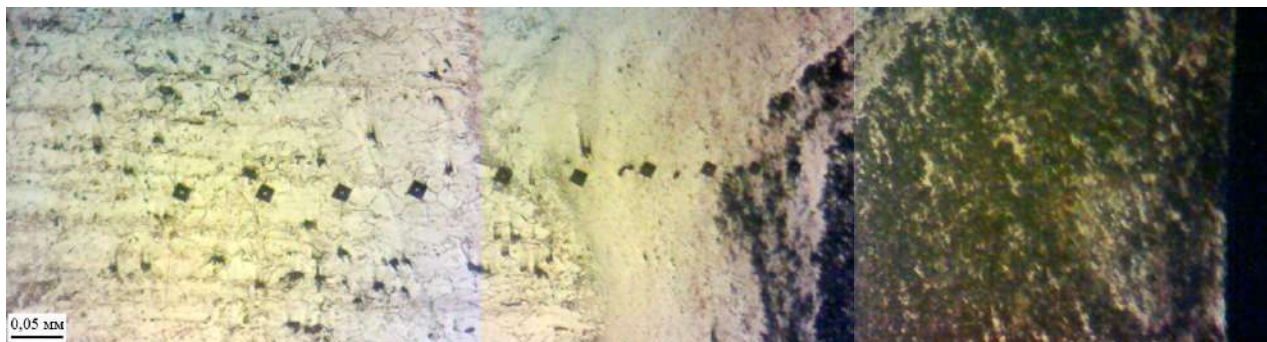


Рисунок 4.20 - Мікроструктура поверхневого шару зразка сталі 12X18H10T з покриттям ЕЕЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6) після ЛО по режиму5

Друга зона - «світлий» шар (до 260 мкм), погано труїться реактивом (царською горілкою), має максимальну твердість на кордоні з першою зоною 7400 МПа, і плавно знижується до твердості основного металу (зона 3).

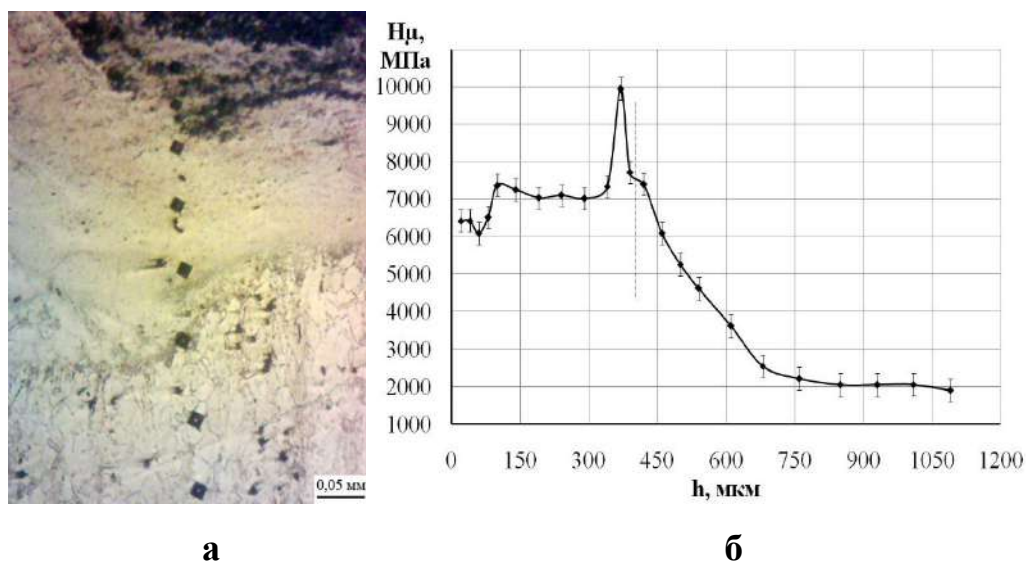


Рисунок 4.21 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12X18H10T з покриттям ЕЕЛ (Т15К6) + МПМ (армований ВК6) після ЛО по режиму5

Максимальна мікротвердість і товщина, «темного» і «світлого» шару для кожного режиму лазерної обробки, представлені відповідно на рисунках 4.22 і 4.23.

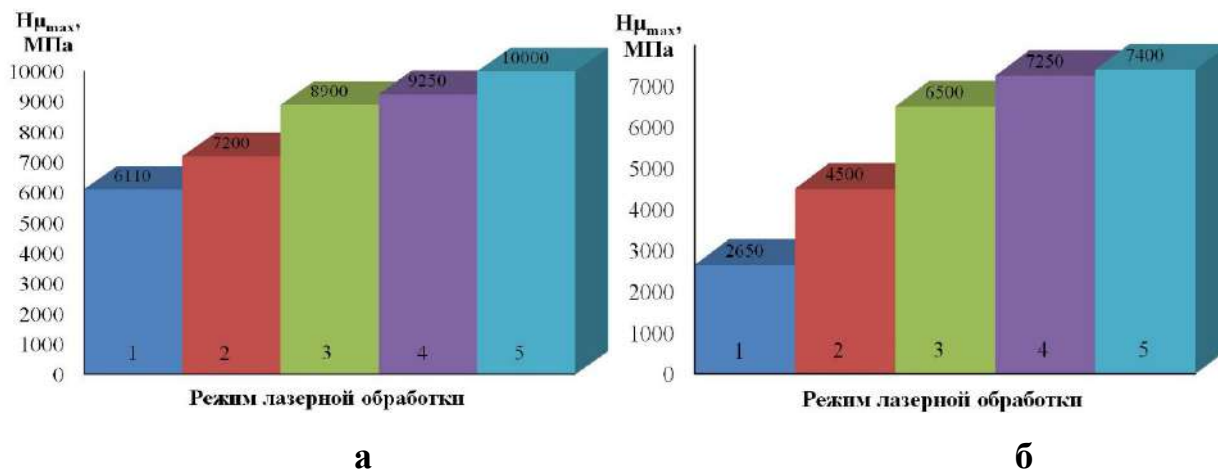


Рисунок 4.22 – Максимальна мікротвердість в поверхневому шарі в залежності від режиму обробки: **а** - «темний» шар; **б** - «світлий» шар.

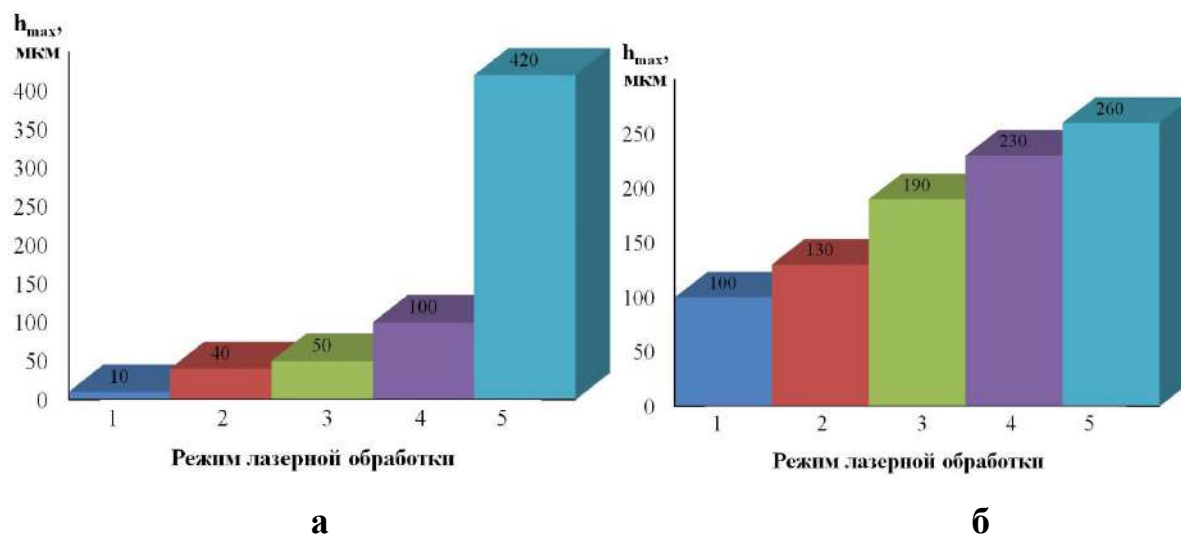


Рисунок 4.23 – Максимальна товщина шарів в залежності від режиму обробки: **а** - «темний» шар; **б** - «світлий» шар.

4.5 Розробка технології формування товстошарових зносостійких покриттів екологічно безпечними методами

Формування товстошарових КЕІП на поверхнях деталей типу тіл обертання

Вище в підрозділ. 4.3 розглянуто спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей шляхом поетапного зміцнення методом ЕІЛ їх поверхневого шару який включає ЦЕІЛ, алітування методом ЕІЛ алюмінієвим електродом і нанесення методом ЕІЛ зносостійкого покриття електродом-інструментом, виготовленим з матеріалу, вибраного з групи тугоплавких металів Ti, V, W і їх карбідів, при цьому всі наступні операції виконують при одній і тій же енергії розряду в діапазоні від 0,5 до 3,4 Дж.

В даний час розрізняють два напрямки в ЕІЛ: чистове і грубе. При чистовому на катоді (деталі) формуються відносно тонкі до 0,1 мм і якісні шари з висотою нерівностей профілю покриття Rz не більше 40 мкм, при грубому товщина формованого шару може досягати 0,15-0,2 мм і більше з Rz~ 80 мкм [див. розд. 1].

При використанні механізованих установок ЕІЛ на тілах обертання товщина отриманих поверхневих шарів значно більше, ніж на плоских і криволінійних поверхнях. Тому виникає необхідність в проведенні досліджень, спрямованих на створення товстошарових покриттів на плоских і криволінійних поверхнях, порівняних з покриттями, які формувались на поверхнях деталей тіл обертання.

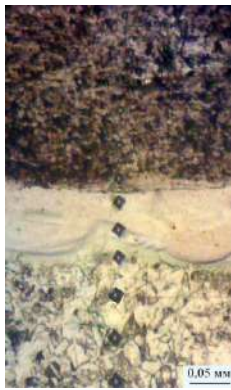
У табл. 4.6, для порівняння, представлені результати металографічних і дюрOMETричних досліджень, а також параметри шорсткості і суцільності поверхневих шарів, сформованих на нержавіючій сталі 12X18H10T в послідовності:

- на плоскій поверхні: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6;
- на поверхні деталей тіл обертання: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ОК → МПМ (армований ВК6).

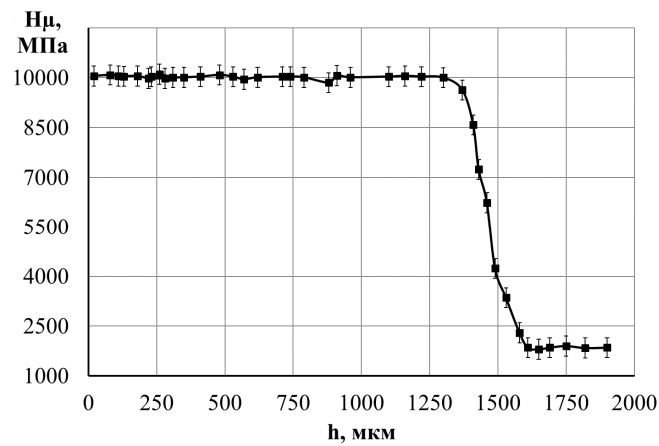
Таблиця 4.6 - Результати параметрів якості поверхневих шарів, на різних етапах нанесення КЕП, на сталь 12Х18Н10Т

Спосіб формування покриття	Послідовність формування покриття	Товщина зміцненого поверхнього шару, мкм	Максимальна мікротвердість зміцненого поверхнього шару, МПа	Шорсткість поверхні, R a, мкм	Суцільність, %
Формування на плоскій поверхні					
Елітрон-52А	С	90-160	9500	9,5	До 100
Елітрон -52А	С + Al	80-120	7500	25,5	100
Елітрон -52А	С+Al+Т15К6	320-360	10000	7,5	80
Формування на поверхні деталей тіл обертання					
Елітрон -52А	С	90-160	9600	8,2	100
ЭИЛ-9	С + Al	80-150	7500	27,5	100
ЭИЛ-9	С+Al+Т15К6	1200-1650	10070	9,7	80
ПІД	Обкатка кулькою	1200-1450	10100	7,0	90
Нанесення МПМ, армованого порошком ВК6	Проточування поверхні «як чисто»	1500	10100	1,2	100

На рис. 4.24 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) за глибиною поверхнього шару зразка сталі 12Х18Н10Т з КЕП, складу ЦЕІЛ + ЕІЛА1 + ЕІЛ Т15К6 + МПМ (армований ВК6).



а



б

Рисунок 4.24 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині поверхневого шару зразка сталі 12Х18Н10Т з КЕП (б)

Як видно з рисунку структура отриманого покриття складається з декількох зон:

- 1) верхня ділянка темного кольору товщиною \sim до 1,25 мм з мікротвердістю порядку 10100-9500 МПа;
- 2) нижче розташована світла зона, товщиною \sim до 0,1-0,15 мм з мікротвердістю, яка плавно знижується до 4000 МПа;
- 3) дифузійна зона глибиною 0,05-0,1 мм, в якій мікротвердість плавно знижується до мікротвердості основи (1900-1950 МПа).

Таким чином, в результаті проведених досліджень, до практичного застосування може бути запропонована нова технологія відновлення і одночасного зміцнення деталей типу тіл обертання (**патенти на корисну модель № 141919 та № 141929**), що дозволяє формувати на поверхнях, що зношуються сталі 12Х18Н10Т КЕП, сформовані в послідовності: ЦЕІЛ \rightarrow ЕІЛА1 \rightarrow ЕІЛ Т15К6 \rightarrow МПМ (армований ВК6), товщиною до 1,5 мм, суцільністю 100%, мікротвердістю порядку 10100-9500 МПа і шорсткістю $R_a = 1,2$ мкм.

Товщину захисних КЕП деталей типу тіл обертання зі сталі 12Х18Н10Т можна значно збільшити, наносячи спочатку на її поверхню нержавіючу сталь 08Х15Н5Д2Т, використання якої в якості електродів при ЕІЛ забезпечує мікротвердість в покритті 4780 МПа.

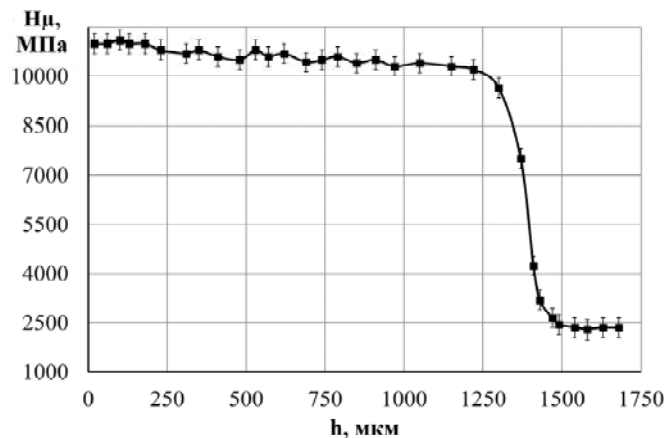
Формування товстошарових КЕП на плоских і криволінійних поверхнях деталей

З метою вдосконалення технології формування на плоских і криволінійних поверхнях деталей товстошарових КЕП, запропонований новий екологічно безпечний спосіб (патент на корисну модель № 142338). Спосіб полягає в формуванні на поверхні порожнього циліндра (труби) товстошарового КЕП, шириною кільця з покриттям необхідних розмірів, після чого від труби відрізають кільце з нанесеним покриттям і непокритою ділянкою. Потім відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, розгинають їх до необхідних розмірів і прикріплюють, використовуючи поверхні без покриття, до ділянок деталі, що зношуються.

На рис. 4.25 показана мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з КЕП після пластичної деформації (ПД).



а



б

Рисунок 4.25 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості по глибині шару зразка сталі 12Х18Н10Т з КЕП, сформованим в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛалюмінієм → ЕІЛ Т15К6 → МПМ (армований ВК6) → ПД (б)

Мікроструктурний аналіз показав, що ПД не змінює характер і будову покриття, а впливає на його властивості. Так, мікротвердість верхньої ділянки

становить 10500 - 11000 МПа, світлого шару - 9500-7500 МПа, а мікротвердість підкладки зростає з 2150 до 2450 МПа.

Таким чином, в результаті проведених досліджень, розроблена нова інтегрована технологія нанесення зносостійких товстошарових КЕП на плоскі і криволінійні поверхні деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, сформованих в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) → ПД, що включає екологічно безпечні методи ЕІЛ, ППД, нанесення МПМ і ПД. В результаті металографічних і дюрOMETричних досліджень встановлено, що товщина сформованого покриття становить ~ 1,3 мм, мікротвердість верхньої ділянки становить 10500 - 11000 МПа, світлого шару 9500-7500 МПа, а мікротвердість підкладки зростає з 2150 до 2450 МПа. При цьому суцільність покриття становить 100%, а шорсткість, $R_a \sim 1,0$ мкм.

4.6 Висновки по розділу 4:

В результаті проведених досліджень розроблена гама технологічних методів, використання яких при виготовленні і ремонті шнеків машин, використовуваних для очищення, переробки та утилізації гною і центрифуг, що застосовуються для очищення стічних вод, забезпечить підвищення їх надійності та довговічності:

1. Удосконалена екологічно безпечна технологія відновлення і зміцнення методом ЕІЛ, поверхонь, що зношуються, яка відрізняється тим, що спочатку наносять шар зносостійкого металу, використовуючи режими, що забезпечують найбільшу суцільність і товщину покриття, а потім обробляють тим же електродом, використовуючи режими при яких шорсткість поверхні приблизно в 2-4 рази вище, ніж на попередньому етапі. В результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні при досягненні найбільшої суцільності і товщини сформованого покриття (**патент UA на корисну модель №138052**).

2. Удосконалено комбінована технологія відновлення деталей, що включає екологічно безпечні технології ЕІЛ і МПМ, яка полягає в тому, що нанесений на оброблену методом ЕІЛ поверхню, наносять шар МПМ, який армують дротом, що пройшов термообробку. Після полімеризації шар піддають фінішній обробці механічним методом, наприклад, шліфуванням або лезовою обробкою, на необхідну глибину. В результаті, формується поверхневий шар, якість, зносостійкість, надійність і довговічність якого вище, ніж при використанні методу МПМ без армування (**патент UA на винахід № 117980**).

3. Запропоновано новий спосіб одночасного відновлення, і зміцнення деталей з нержавіючої сталі 12X18H10T, шляхом нанесення КЕП, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛ Т15К6 у якого зона підвищеної твердості досягає 360 мкм, шорсткість поверхні $Ra = 7,5$ мкм, мікротвердість поверхневого шару становить 11500 МПа (**патент UA на винахід №136895**).

4. Розроблено екологічно безпечна комбінована технологія формування зносостійких покриттів, що включає послідовне ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при ($W_p = 0,55$ і $0,90$ Дж), нанесення МПМ, армованого порошком твердого сплаву ВК6 і ЛО, що дозволила збільшити товщину покриття до 600 мкм з мікротвердістю 7,3 - 10,0 ГПа і суцільністю 100% (**патент UA на корисну модель №131805**).

5. Запропоновано нову технологію відновлення і одночасного зміцнення поверхонь деталей типу тіл обертання, що дозволяє формувати на сталевих поверхнях, що зношуються товстошарові КЕП, сформовані в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛ Т15К6 → МПМ, товщиною до 1,5 мм, суцільністю 100%, мікротвердістю порядку 10100-9500 МПа і шорсткістю $Ra = 1,2$ мкм (**патент UA на корисну модель №141919**);

6. Розроблено нову комбіновану технологію формування зносостійких товстошарових покриттів на плоских і криволінійних поверхнях деталей з нержавіючої сталі 12X18H10T, сформованих в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ → ПД, що включає екологічно безпечні методи:

ЕІЛ, ППД, МПМ і ПД. В результаті проведених досліджень, встановлено, що товщина сформованого покриття становить ~ 1,3 мм, мікротвердість до 11000 МПа, суцільність 100% і шорсткість, $R_a \sim 1,0$ мкм (**патент UA на корисну модель №142338**).

7. За матеріалами розділу опубліковані наступні роботи [130-133, 135, 138-153, 155-162].

РОЗДІЛ 5

ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Нова екологічно безпечна технологія відновлення лопатей шнеків, виготовлених з листової сталі

Традиційно, при ремонті витків (лопатей) шнеків машин, використовуваних для очищення, переробки та утилізації гною і центрифуг, що застосовуються для очищення стічних вод, що піддаються в процесі експлуатації гідроабразивному зносу, зношені ділянки замінюють окремими сегментами, які приварюють до вцілілих поверхонь. Так при ремонті центрифуги, марки ОГШ-631К-02, що вийшла з ладу на очисних спорудах, що входять до складу ДКП "Міськводоканал" м Суми, на окремі сегменти наносять покриття, які потім приварюють по шаблону до поверхонь шнека (див. розд. 1). Сегменти, як і шнек, виготовляли з нержавіючої корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т.

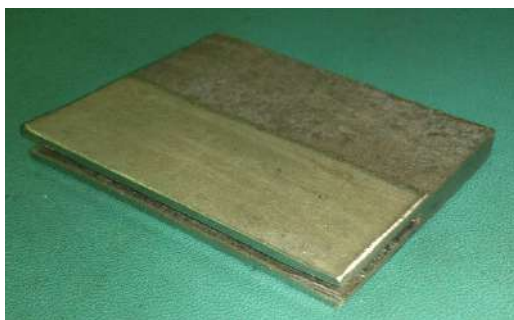
Недоліком такого способу ремонту є висока трудомісткість і вартість нанесення покриттів, а також їх негативний вплив на навколишнє середовище.

Технічною задачею пропонованого рішення є:

- підвищення довговічності відновлених і зміцнених деталей з листової сталі при їх експлуатації в середовищах, що володіють високою зношується здатністю;
- відсутність жолоблення, а також підвищення твердості і зносостійкості відновлених і зміцнених деталей в умовах інтенсивного абразивного зношування;
- можливість використання зносостійких металів з будь-яким ступенем зварюваності в якості матеріалу, що використовується при відновленні;
- невелика витрата електроенергії;
- екологічна безпека.

Поставлена технічна задача вирішена завдяки створенню нового, екологічно безпечного способу (**патенти на корисну модель № 140567 та 140468**) відновлення і одночасного зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі. Спосіб включає видалення зношеної частини і заміну її окремим сегментом, також виготовленим з листового матеріалу, і з'єднання його з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням. Відповідно до одного з варіантів, забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним пазом або виточкою. Зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕІЛ до досягнення заданої твердості сегмента, а перед створенням нероз'ємного з'єднання відновлюваної деталі і сегмента поверхні паза сегмента покривають МПМ. Спосіб здійснюється наступним чином.

Зношену поверхню витків шнека проточують як чисто і в залежності від їх товщини виготовляють два види сегментів (рис. 5.1).



а



б

Рисунок 5.1 – Типи сегментів: **а** - з наскрізним пазом, **б** - з виточкою

У сегментах, які прикріплюються до витків на конусній ділянці шнека, де знос найбільш значний, виготовляють наскрізний паз (рис. 5.1, **а**), а для іншого типу сегментів, що прикріплюються до витків на циліндричній ділянці шнека, виготовляють виточку (рис. 5.1, **б**). При цьому довжина і висота сегмента становлять, відповідно, 60 і 50 мм, глибина паза і виточки знаходяться в межах 30-35 мм, а ширина дорівнює товщині витка шнека. Розміри ділянки сегмента під зміцнення, залежно від глибини паза і виточки, складають 60 x 15-20 мм.

Так, для витків шнека центрифуги ОГШ-631К-02, призначеної для очищення стічних вод, з товщиною витка шнека 4,0 мм в разі виготовлення

сегмента з наскрізним пазом потрібна заготовка з листа сталі 12Х18Н10Т товщиною близько 9-10 мм, а для сегмента з виточкою 7-8 мм.

Після виготовлення сегментів, на зміцнюючих ділянках формується композиційне покриття, що складається з твердого сплаву Т15К6 і МПМ, попередньо армованого порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену феросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини ~ 60% (див. розд. 4).

Монтаж сегментів на витках шнека роблять у наступній послідовності:

- перед монтажем поверхню паза і виточки покривають хоча б одним шаром МПМ;

- на конусній ділянці шнека (рис. 5.2) сегмент надягають пазом на виток, просвердлюють наскрізні отвори через лопать і сегмент і фіксують з'єднання за допомогою додаткових кріпильних елементів (заклепок, гвинтів та ін.);

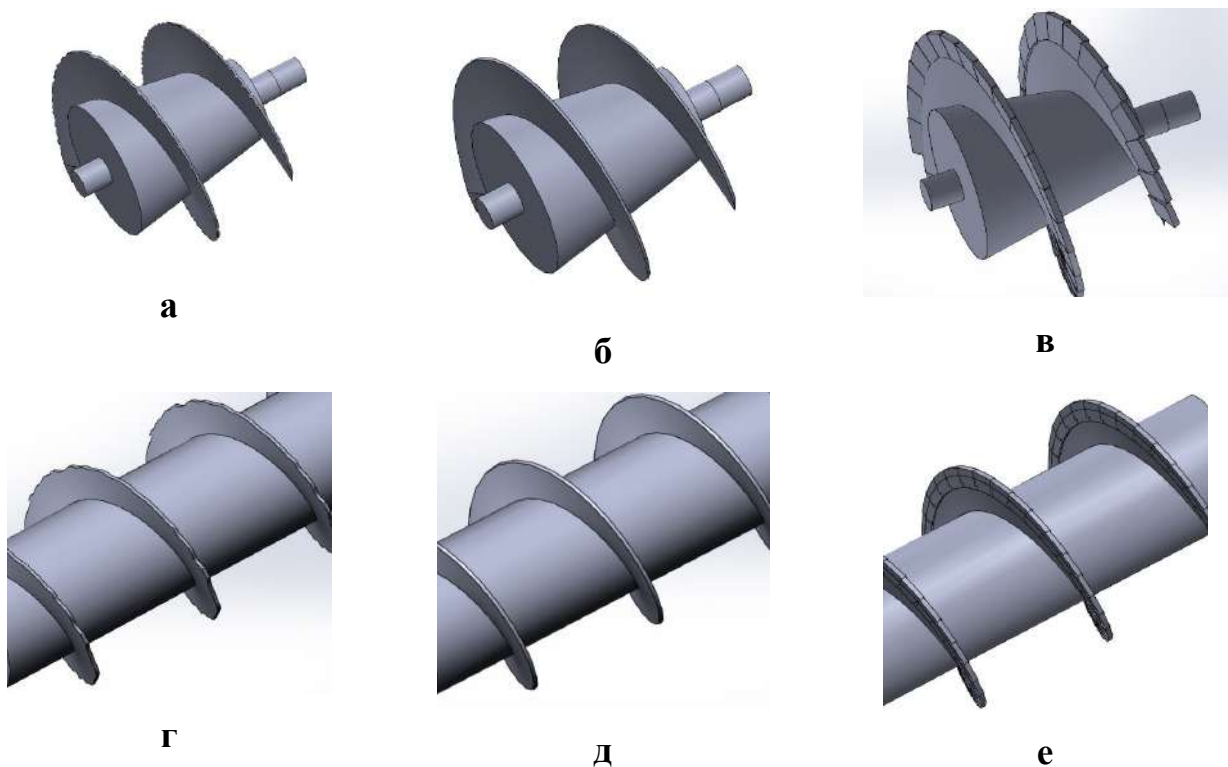


Рисунок 5.2 – Конусна (а, б, в) і циліндрична (г, д, е) зони шнека центрифуги типу ОГШ: а, г - з зношеними; б, д - проточеними «як чисто» і в, е - відновленими ділянками

- на циліндричній ділянці шнека (рис. 5.3) сегмент накладають виточкою на лопать; просвердлюють наскрізні отвори через лопать і сегмент і фіксують з'єднання за допомогою додаткових кріпильних елементів (заклепок, гвинтів та ін.);

- видавлені залишки МПМ видаляють з поверхні сегменту.

Таким чином, основними перевагами запропонованого нового способу, є: відсутність короблення, підвищення твердості і зносостійкості відновлених ділянок деталей, можливість використання в якості матеріалу сегментів зносостійких металів з будь-яким ступенем зварюваності, невелика витрата електроенергії і екологічна безпека.

5.2 Нова технологія формування товстошарових зносостійких КЕП на сегментах зі сталі 12X18H10T

З метою вдосконалення технології ремонту гвинтових поверхонь шнеків центрифуг типу ОГШ, що піддаються постійному корозійного впливу, запропонований екологічно безпечний спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі 12X18H10T з товстошаровим КЕП на зношених плоских і / або криволінійних поверхнях (**патент на корисну модель № 142338**). Спосіб здійснюють наступним чином. На зовнішній поверхні порожнистої деталі типу тіла обертання з нержавіючої сталі 12X18H10T формують товстошарове зносостійке КЕП. Відрізають кільце з нанесеним покриттям. Відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, розгинають їх до заданих розмірів і забезпечують при цьому остаточну обробку покриття методом пластичної деформації (ПД) сегмента. Застосування ЕІЛ в комбінації з іншими технологічними операціями, такими як поверхнева пластична деформація (ППД), пластична деформація (ПД) і нанесення металополімерного матеріалу (МПМ), армованого при полімеризації порошком твердосплавних суміші ВК6, з видаленням частини шару МПМ до виступів шорсткості покриття з твердого

сплаву Т15К6, дає можливість управляти структурою і параметрами поверхонь сегментів.

Сегменти з товстостаровими КЕПІ виготовляють у такій послідовності:

- частину труби з зовнішнім діаметром 100 - 300 мм і мікротвердістю ~ 2300 МПа зі сталі 12Х18Н10Т з товщиною стінки для сегмента з пазом близько 9-10 мм, а для сегмента з виточкою 7-8 мм затискають в патроні токарного верстата;

- в залежності від типу сегмента:

- для сегмента з виточкою розточують трубу на 4,0 мм на глибину 30-35 мм (рис. 5.3,**а**);



а

б

Рисунок 5.3 –Виготовлення виточки (**а**) і паза (**б**) в трубі

- для сегмента з пазом проточують паз в торці труби на глибину 30-35 мм, зберігаючи товщину стінок 2,5-3,0 мм (рис. 5.3, **б**);

- використовуючи установку «Елітрон-52А», проводять ЦЕІЛ поверхні труби з енергією розряду (W_p) = 3,4 Дж, починаючи легування відступивши від торця 30 мм і закінчуючи на відстані 60 мм. При обробці ЦЕІЛ, необроблювані ділянки поверхні, необхідно захистити від торкання легуючим електродом-інструментом будь-яким ізоляційним матеріалом (рис. 5.4, **а**);

**а****б**

Рисунок 5.4 –ЦЕІЛ (**а**) і ЕІЛAl (**б**) поверхні труби

- використовуючи механізовану установку «ЕІЛ-9» виконують три проходи ($W_p = 3,4$ Дж) алюмінієвими електродами (рис. 5.4, **б**), а потім наносять покриття з твердого сплаву Т15К6 в два проходи з $W_p = 0,9$ Дж і два проходу з $W_p = 3,4$ Дж (рис. 5.5, **а**);

- проводять обкатку кулькою (ОК) поверхні КЕІП (рис. 5.5, **б**);

- на покриття з твердого сплаву Т15К6, ретельно втираючи, наносять МПМ, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену феросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини $\sim 60\%$ (рис. 5.6,**а**);

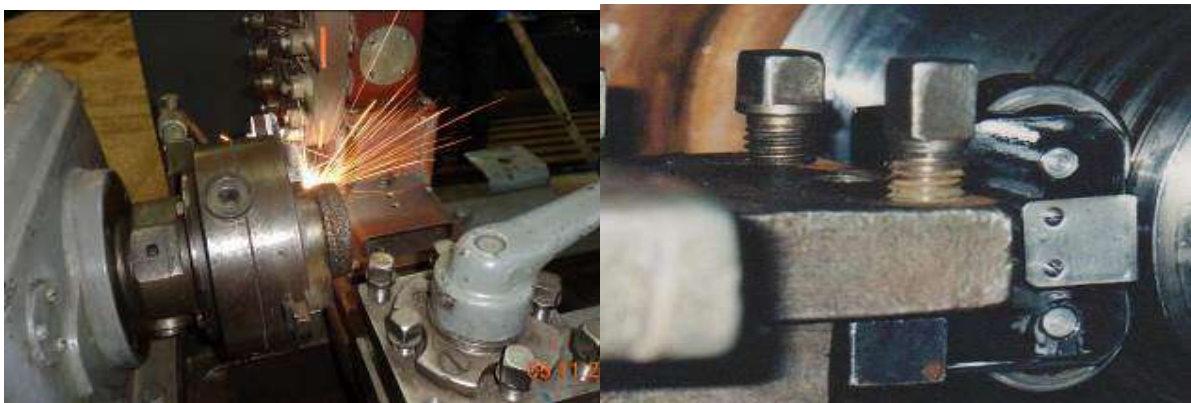
**а****б**

Рисунок 5.5 – ЕІЛТ15К6 (**а**) та ОК (**б**) поверхні труби

- після полімеризації шар МПМ проточують до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6 (рис. 5.6, **б**);

**а****б**

Рисунок 5.6 – Поверхня труби з покриттям з МПМ, попередньо армованого порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6, (**а**) і проточування МПМ (**б**)

- відрізають ділянку труби на відстані 50 мм від торця (рис. 5.7, **а**);
 - відрізану втулку, з КЕШП, розрізають на окремі сегменти необхідних розмірів (рис. 5.7, **б**);

**а****б**

Рисунок 5.7 – Відрізану ділянку труби з незміцненою поверхнею і з КЕШП (**а**) розрізають на окремі сегменти (**б**)

- за допомогою преса сегменти розгинають (рис. 5.8, **а**) до необхідного радіуса викривлення витка шнека. У нашому випадку, для шнека центрифуги

марки ОГШ-631К-02, витки мають плоску поверхню, тому сегменти необхідно розгинати повністю (рис. 5.8, б);



а

б

Рисунок 5.8 – Розгинання сегмента на пресі (а) і вирівняні сегменти різної довжини (б)

- при розгинанні сегмента, щоб уникнути зминання, металеву смужку товщиною 4 мм вставляють в паз або підкладають під виточку. Розміри металеві смужки повинні бути трохи більше розмірів паза, щоб після розгинання сегмента її можна було легко витягти;

- виготовлений сегмент прикріплюють до зношеної поверхні витка шнека і фіксують заклепками, гвинтами або іншими кріпильними елементами. При цьому контактні поверхні сегмента і витка шнека покривають МПМ.

Таким чином, розроблена нова комбінована технологія формування зносостійких товстошарових комбінованих покриттів на плоских і криволінійних поверхнях деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, сформованих в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛ Т15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) → ПД, що включає екологічно безпечні методи: ЕІЛ, ППД, нанесення МПМ і ПД.

В результаті металографічних і дюрOMETричних досліджень встановлено, що товщина сформованого покриття становить $\sim 1,3$ мм, мікротвердість верхньої ділянки становить 10500 - 11000 МПа, світлого шару 9500-7500 МПа, а мікротвердість підкладки зростає з 2150 до 2450 МПа. При цьому суцільність покриття становить 100%, а шорсткість, $R_a \sim 1,0$ мкм (див. розд.4).

Розроблена технологія пройшла промислову апробацію при ремонті шнека центрифуги ОГШ-631К-02, що використовується на очисних спорудах, що входять до складу ДКП "Міськводоканал" м Суми.

Слід зазначити, що розроблена нова комбінована технологія формування зносостійких товстошарових покриттів на плоских і криволінійних поверхнях деталей може застосовуватися до деталей з будь-яких сталей.

5.3 Нова технологія зміцнення сегментів, виготовлених зі сталі 65Г, 40Х та 30Х13

Промислові підприємства, які використовують в своєму виробничому процесі машини для переробки гною і центрифуги різного призначення, стикаються з необхідністю захисту при експлуатації від різних видів зносу або відновлення при ремонті поверхонь лопатей шнеків, виготовлених з різних матеріалів листового прокату.

Характерною позитивною особливістю застосовуваного методу є те, що сегменти можуть бути виготовлені з будь-яких твердих зносостійких металів. При цьому не обов'язково, щоб ці метали мали гарну зварюваність.

Для підвищення твердості сталевих деталей нами запропонований спосіб ЦЕІЛ, що забезпечує екологічну безпеку при зміцненні деталей, з сталевого листового прокату(патент **UA на корисну модель № 141992**).

Спосіб включає в себе ЕІЛ сталевих поверхонь графітовим електродом і відрізняється тим, що для досягнення температури гартівних процесів і відпуску, при обробці поверхонь деталей товщиною від 1,0 до 10 мм,

використовується енергія розряду W_p в межах 4,6 - 6,8 Дж і продуктивність 0,2 - 3,0 см²/хв.

Крім цього, спосіб відрізняється, тим, що:

- для досягнення температури гарту і відпуску, при ЕІЛ поверхонь деталей із сталевого прокату товщиною 1,0 мм, використовується енергія розряду 4,6 Дж;

- для досягнення температури відпуску, при ЕІЛ поверхонь деталей із сталевого прокату товщиною 2,0 мм, використовується енергія розряду 4,6 Дж;

- для більш рівномірного розподілу мікротвердості по перетину при загартуванні на повітрі необхідно проводити ЦЕІЛ по обидва боки зразка.

В результаті ЕІЛ поверхні сталі графітовим електродом відбуваються такі процеси:

- насичення поверхні сталі вуглецем, причому за рахунок концентрованих потоків енергії спостерігається аномально висока дифузія вуглецю, при цьому вміст вуглецю в поверхневому шарі може становити 3-4% [131];

- надшвидкісний гарт, при короткочасному нагріванні розрядом електричного струму до високої температури, а потім миттєве охолодження, що призводить до утворення нерівноважних структур з дрібним зерном, високою гетерогенністю за складом, структурою, високим рівнем термічних напруг;

- пластичне деформування при локальній дії на матеріал імпульсного тиску.

Перераховані процеси впливають на формування властивостей отриманих поверхневих шарів. У табл. 5.1 представлені результати вимірювання твердості листового прокату із сталей 65Г, 40Х та 30Х13 після ЕІЛ і термообробки:

- 1) ЦЕІЛ, охолодження на повітрі;
- 2) ЦЕІЛ, охолодження в маслі.

Необхідно відзначити, що в результаті цементації і наступної локальної термічної обробки методом ЕІЛ відбувається значне підвищення твердості поверхневого шару. В результаті перерахованих вище процесів, що

відбуваються при ЕІЛ, можна досягти твердості до 72 НРС на поверхні, що піддається ЕІЛ, і до 69 НРС на зворотному боці тонкої листової заготовки (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Технологічні параметри зміцнення зразків із сталевих листів методом цементації електроерозійного легування

Товщина зразка, мм	Енергія розряду, Вт, Дж, гарт / відпуск	Продуктивність, см / хв, гарт / відпуск	Твердість, НРС, сторона ЕІЛ	Твердість, НРС, зворотна сторона зразка	Твердість, НРС, сторона ЕІЛ	Твердість, НРС, зворотна сторона зразка	Шорсткість, Ra, мкм
			Охолодження на повітрі		Охолодження в маслі		
Сталь 65Г (прокат листовий, згідно ГОСТ 19903-74)							
1	4,6/4,6	0,3/1,0	69/69	55/55	72/71	69/67	3,7
2	6,8/4,6	3,0/07	69/69	53/53	72/71	67/65	4,1
3	6,8/6,8	2,0/3,0	68/68	45/44	71/70	66/62	4,3
4	6,8/6,8	1,5/2,4	66/66	43/43	70/69	64/60	4,5
5	6,8/6,8	1,4/3,0	63/63	41/41	70/68	62/60	4,9
6	6,8/6,8	1,0/2,0	62/62	40/40	70/67	62/60	5,2
7	6,8/6,8	0,7/1,0	60/60	38/38	69/65	61/60	5,1
8	6,8/6,8	0,5/0,7	60/60	37/37	69/64	61/60	5,5
9	6,8/6,8	0,3/06	59/59	35/35	65/62	61/60	6,7
10	6,8/6,8	0,2/04	59/59	33/33	63/59	61/59	6,8
Сталь 30X13 (прокат листовий, згідно ГОСТ 5582-75)							
4,0	6,8/6,8	1,5/2,4	65/64	42/40	67/65	60/59	4,3
Сталь 40X (прокат листовий, згідно ГОСТ 19903-74)							
5,0	6,8/6,8	1,4/3,0	63/62	38/34	65/61	50/48	5,1

Результати металографічного і дюрOMETричного аналізу підтверджують утворення нерівноважних структур підвищеної твердості після ЕІЛ графітовим електродом.

На рис. 5.9 зображені мікроструктура, і розподіл мікротвердості по мірі поглиблення з поверхні зразка сталі 65Г, товщиною 3 мм після ЦЕІЛ і охолодження на повітрі. Максимальна мікротвердість 9500 МПа знаходиться на легованій поверхні зразка. У міру поглиблення мікротвердість знижується. На глибині 300 мкм мікротвердість становить 4000-4500 МПа і далі по всьому перетину змінюється незначно.

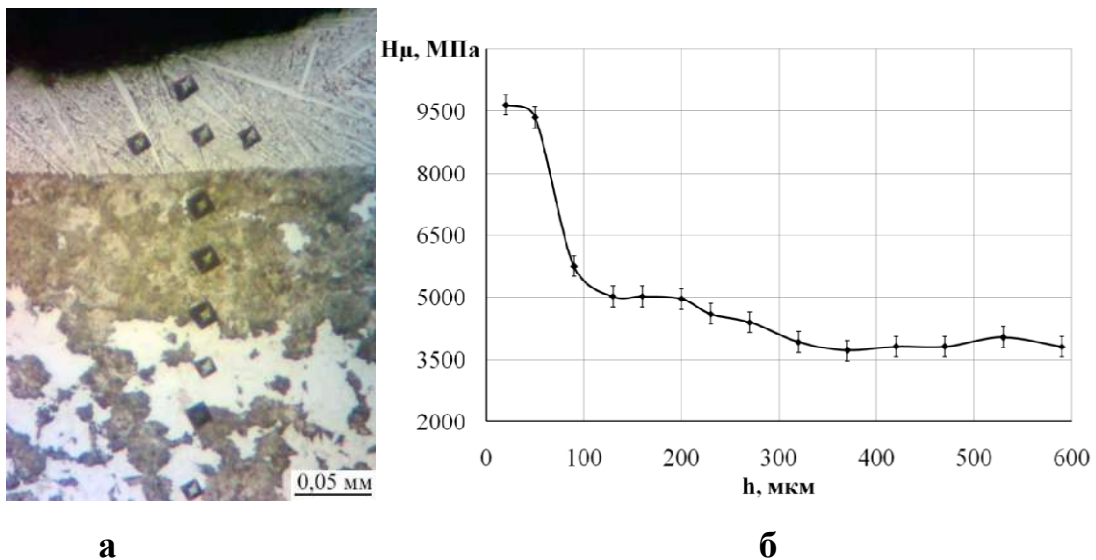


Рисунок 5.9 – Мікроструктура (а) і зміна мікротвердості (б) в зразку товщиною 3 мм сталі 65Г після ЦЕІЛ і охолодження на повітрі

На рис. 5.10 зображені мікроструктура, і розподіл мікротвердості по мірі поглиблення з поверхні зразка сталі 65Г, товщиною 2 мм після ЦЕІЛ і охолодження в маслі. Максимальна мікротвердість 12500 МПа знаходиться на легованій поверхні зразка. У міру поглиблення мікротвердість знижується. На глибині 80-120 мкм присутній провал мікротвердості до 8000 МПа, після чого величина мікротвердості підвищується до 9100-9600 МПа і далі по всьому перетину не змінюється.

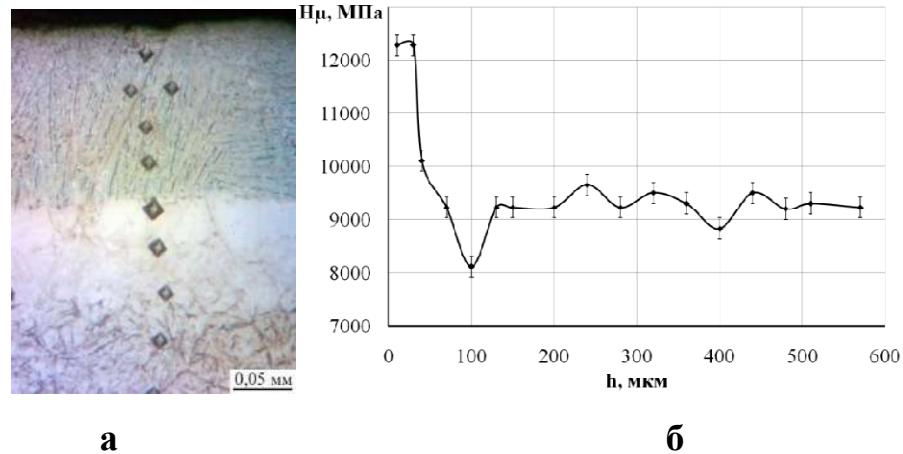


Рисунок 5.10 - Мікроструктура (а) і зміна мікротвердості (б) в зразку товщиною 2 мм сталі 65Г після ЦЕІЛ і охолодження в маслі

На рис. 5.11 зображені мікроструктура, і розподіл мікротвердості по мірі поглиблення з поверхні зразка стали 30X13, товщиною 4 мм після ЦЕІЛ і охолодження на повітрі. Максимальна мікротвердість 9500-9700 МПа знаходиться на легованій поверхні зразка. У міру поглиблення мікротвердість знижується. На глибині 200 мкм мікротвердість становить 4000-4200 МПа і далі по всьому перетину змінюється незначно.

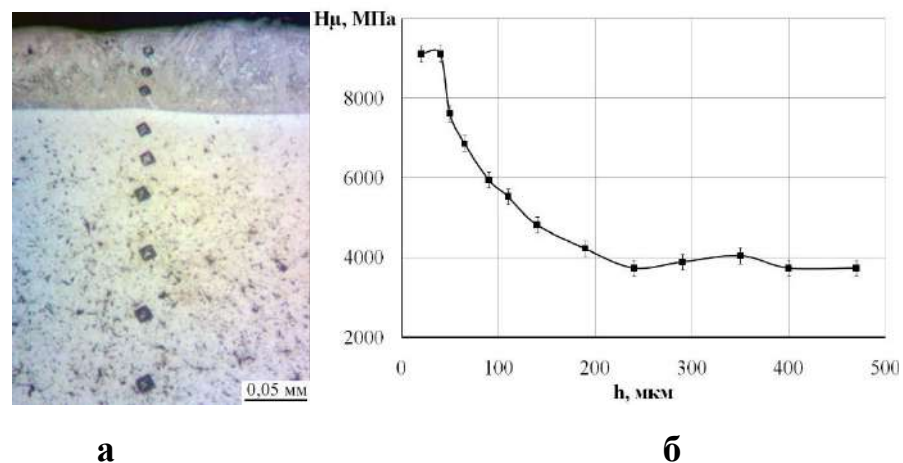
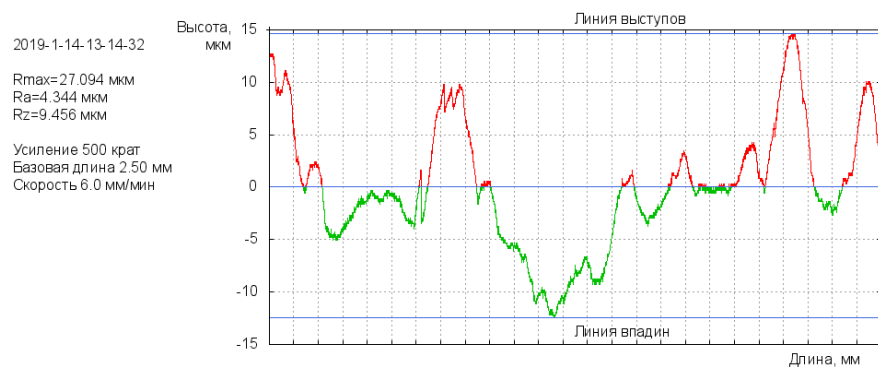


Рисунок 5.11- Мікроструктура (а) і зміна мікротвердості (б) в зразку товщиною 4 мм сталі 30X13 після ЦЕІЛ і охолодження в маслі

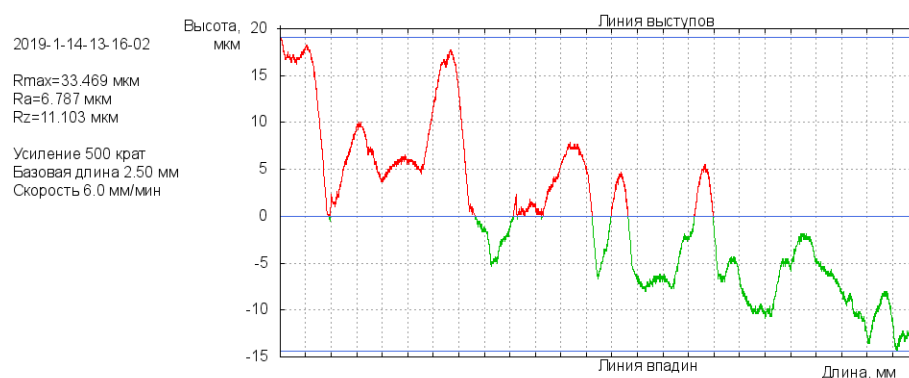
Шорсткість легованої поверхні, при використанні максимальних режимів установки «Елітрон 52А», відповідних енергії розряду 6,8 Дж на різних ділянках і матеріалах зразків змінюється незначно. Відзначається тенденція збільшення шорсткості поверхні зі збільшенням товщини зразка. На рис. 5.12 показані профілограми з максимальною і мінімальною шорсткістю, зразків сталі 65Г.

При зниженні енергії розряду до 4,6 Дж шорсткість незначно знижується (рис. 5.13).

Слід зазначити, що для більш рівномірного розподілу мікротвердості по перетину при загартуванні на повітрі необхідно проводити ЦЕІЛ по обидва боки зразка.



а



б

Рисунок 5.12 - Профілограми з мінімальною (**а**) і максимальною (**б**) шорсткістю поверхні зразків сталі 65Г, легованих з енергією розряду 6,8 Дж

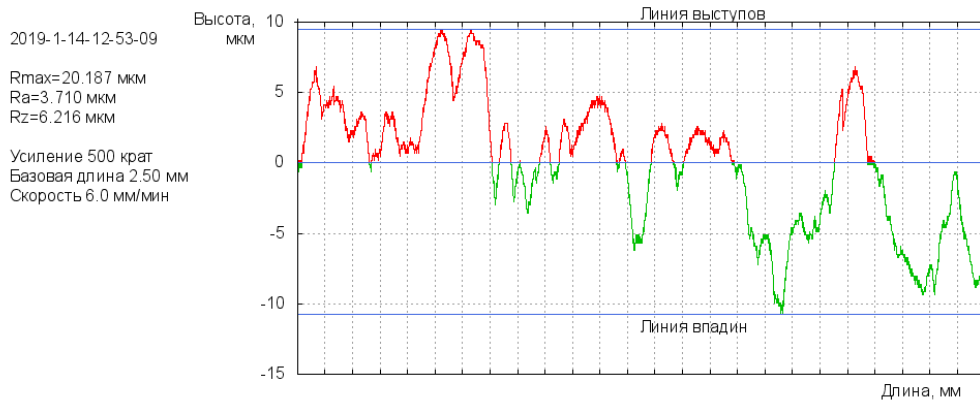


Рисунок 5.13 – Профілограма шорсткості поверхні зразка сталі 65Г товщиною 1мм, легованих з енергією розряду 4,6 Дж

Таким чином, запропонована до практичного застосування нова, екологічно безпечна технологія зміцнення сегментів, що прикріплюються до зношених поверхонь лопатей шнеків, виготовлених з прокату різних марок сталей, виконується в наступній послідовності:

- з сталей 40Х, 65Г і 30Х13 виготовляють сегменти двох видів: з виточкою і з пазом;

- зношену поверхню лопатей шнека покривають МПМ і не чекаючи його полімеризації (затвердіння) прикріплюють сегменти, (просвердлюють наскрізні отвори через лопать і сегмент і фіксують з'єднання за допомогою кріпильних елементів: заклепок, гвинтів та ін.), причому сегменти з пазом прикріплюють до лопат тієї частини шнеку, де вони більше зношуються.

5.4 Технологія відновлення посадочних місць шнеків під підшипники кочення

Для відновлення посадочних місць шнеків під підшипники кочення до практичного застосування пропонується кілька, описаних в розділі 4 комбінованих технологій, що включають формування методом ЕІЛ покриття з твердих зносостійких металів, наприклад, твердого сплаву Т15К6, і подальшого нанесення МПМ (табл. 5.2). Заключною операцією всіх технологій є нанесення

на оброблену методом ЕІЛ поверхню, як неармованого, так і армованого МПМ.

Таблиця 5.2 – Основні якісні параметри покриттів, сформованих інтегрованими технологіями відновлення зношених посадкових поверхонь шнеків під підшипники кочення

Склад комбінованих технологій	Товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару, мкм	Максимальна мікротвердість зміцненого поверхневого шару, МПа
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ	0,22	5500
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6	0,25	9500
ЦЕІЛ→ЕІЛА1→ ЕІЛ Т15К6→ МПМ	0,35	11500
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований дротом	1,5	5500

У разі нанесення неармованого МПМ роль армування виконують виступи шорсткості поверхневого шару, сформованого нанесенням на відновлювану поверхню методом ЕІЛ покриття з використанням електрода інструменту з твердого сплаву Т15К6. В даному випадку МПМ заповнює всі западини, пори і інші недосконалості покриття, сформованого методом ЕІЛ і, таким чином, підвищує якість поверхневого шару (шорсткість, суцільність, нерівномірність і ін.).

При подальшій механічній обробці нанесеного МПМ (проточці, шліфовці

і ін.) до вершин виступів шорсткості електроіскрового покриття, товщина відновленого шару становить $\sim 0,2$ мм на сторону і, відповідно $\sim 0,4$ мм на діаметр. Цього, як правило, цілком достатньо для відновлення шийки шнека під підшипник кочення.

Більшої якості відновленого шару можна досягти застосуванням армування МПМ порошком твердого сплаву, наприклад, ВК6. У цьому випадку товщина відновленого шару становить $\sim 0,25$ мм на сторону і, відповідно $\sim 0,5$ мм на діаметр, а мікротвердість на поверхні досягає 9500 МПа.

У разі більшого зносу, що відбувається не часто, можна скористатися іншими комбінованими технологіями, представленими в табл. 5.2.

Слід зазначити, що суцільність у всіх покриттів, сформованих за технологіями (табл. 5.2) становить 100%, а шорсткість після проточки або шліфування МПМ знаходиться в межах $Ra = 0,8-1,2$ мкм.

5.5 Оцінка зносостійкості сталевих зразків, що застосовуються для відновлення і зміцнення лопатей шнеків

Оцінка гідроабразивної зносостійкості зразків зі сталі 12Х18Н10Т з захисними покриттями.

З метою оцінки гідроабразивної зносостійкості покриттів, сформованих за різною технологією, проводилися випробування на знос. Матеріалом основи зразків служила сталь 12Х18Н10Т. Інтегральний ваговий знос визначався по втраті маси зразка протягом 24 годин. Зразки зважували на аналітичних вагах через кожні 8 годин. У випробуваннях брали участь наступні серії зразків:

- 12Х18Н10Т без покриття;

- 12Х18Н10Т → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ и $0,90$ Дж);
- 12Х18Н10Т → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ и $0,90$ Дж) + МПМ;
- 12Х18Н10Т → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ и $0,90$ Дж) → МПМ → ЛО;
- 12Х18Н10Т → наплавка стеліту;
- ЦЕІЛ + ЕІЛА1 + ЕІЛТ15К6 + ППД + МПМ (армований ВК6) + ПД.

В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш інтенсивно зношуються зразки без покриття (рис. 5.15).

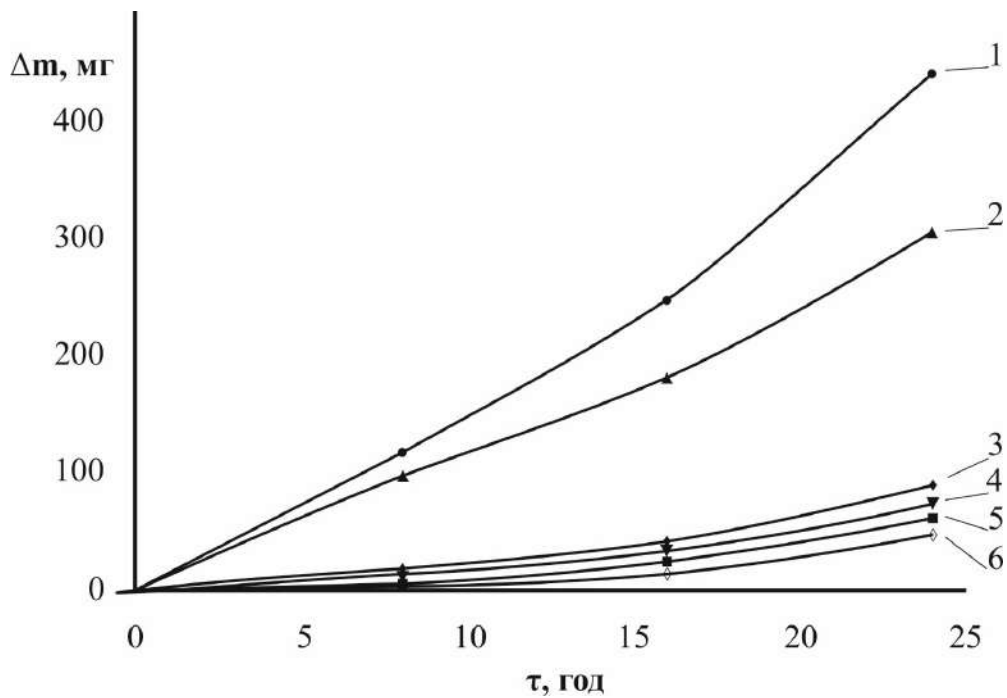


Рисунок 5.15 – Залежність гідроабразивного зносу (по втраті маси) від часу випробування зразків: 1 - без покриття; 2 - ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ і $0,90$ Дж); 3 - ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ і $0,90$ Дж) → МПМ; 4 - ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ і $0,90$ Дж) → МПМ → ЛО по режиму 5; 5 - наплавка стелітом; 6 - ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) → ПД



















Найкращі результати по гідроабразивній зносостійкості показали зразки з товстошаровим покриттям, сформованим за інтегрованої технології в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) → ПД.

У зразків з покриттям, нанесеним в послідовності: ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ → ЛО і сформованим за традиційною технологією наплавленням стеліту, знос, відповідно більше ~ на 10 і на 15%.

Ще більше знос у зразків після обробки ЕІЛ → МПМ, що мабуть пояснюється різним методом зчеплення частинок порошку твердого сплаву ВК6: спіканням при ЛО і склеюванням в двокомпонентній епоксидній системі, наповненій феросиліконом марки Loctite 3478.

У таблиці 5.2 представлені фотографії зразків до і після випробувань на гідроабразивну зносостійкість.

Таблиця 5.2 – Зовнішній вигляд зразків до і після випробування на гідроабразивну зносостійкість

№ п/п	Технологія одержуваного покриття	Зразок до випробування	Зразок після випробування 16 ч	Зразок після випробування 24 ч
1	без покриття			
2	ЕІЛ Т15К6 при $W_p = 0,55$ Дж та $W_p = 0,90$ Дж			
3	ЕІЛ Т15К6 при $W_p = 0,55$ Дж та $W_p = 0,90$ Дж + МПМ			
4	ЕІЛ Т15К6 при $W_p = 0,55$ Дж та $W_p = 0,90$ Дж + МПМ + ЛО по режиму 5			
5	Сталь 12Х18Н10Т → ЦЕІЛ → ЕІЛ А1 → ЕІЛ Т15К6 → ОК → МПМ			
6	Сталь 12Х18Н10Т → наплавка стелітом			

Аналіз таблиці показав, що покриття, сформовані в послідовності ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 0,55$ Дж і $W_p = 0,90$ Дж + МПМ інтенсивно зношуються по зовнішньому шару МПМ. Однак в результаті ЛО відбувається збільшення щільності ЕІЛ шару, дифузія елементів в глиб підкладки і збільшення глибини легованого шару. Мабуть, у зв'язку з цим, зразки після ЛО мають високі результати, які межують з показниками гідроабразивної зносостійкості зразків з покриттям з наплавленого стеліту і товстошарових покриттів, сформованих за інтегрованої технології в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) → ПД. Найбільша стійкість проти гідроабразивного зносу зразків з товстошаровим покриттям пояснюється масивним шаром з твердого сплаву Т15К6, зміцненого ППД обкаткою кулькою і ПД.


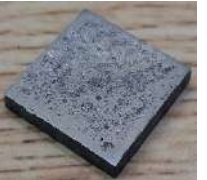



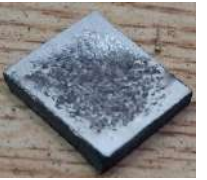






Таким чином, в результаті досліджень зразків сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями на гідроабразивний знос протягом 24 год встановлено, що зносостійкість покриття, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → ППД → МПМ (армований ВК6) → ПД відповідно, в 8,18 ; 5,45; 1,55; 1,15; і 1,10 рази більше зразків без покриття; ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ і 0,90 Дж); ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ і 0,90 Дж) → МПМ; наплавка стеліту; ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ і 0,90 Дж) → МПМ → ЛО.

Оцінка гідроабразивної зносостійкості зразків із сталей 65Г, 30Х13 та 40Х, зміцнених методом ЦЕІЛ.

Гідроабразивний знос зразків із сталей 65Г, 30Х13 та 40Х, зміцнених методом ЦЕІЛ, визначався за методикою, як і для сталі 12Х18Н10Т з захисними покриттями, тільки з меншою концентрацією абразиву. Вид обробки зразків із сталей 65Г, 30Х13 та 40Х, зміцнених методом ЕІЛ графітовим електродом (ЦЕІЛ) і охолоджуваних на повітрі і в маслі, їх твердість а також фотографії до і після випробувань, представлені в табл. 5.3.

В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш інтенсивно зношуються зразки зі сталі 40Х, причому у зразків загартованих в маслі знос менше (рис. 5.16).

Таблиця 5.3 – Зовнішній вигляд зразків до і після випробування на абразивну зносостійкість

Марка сталі	Склад інтегрованих технологій	Твердість	Зображення зразка	
			Зразок до випробування	Зразок після випробування 24 ч
40Х	ЦЕІЛ → закалка 860°C, масло, відпуск 500°C, повітря	66HRC		
	ЦЕІЛ → закалка 860°C, повітря, відпуск 500°C, повітря	63 HRC		
65Г	ЦЕІЛ → закалка 830°C, масло, відпуск 200°C, повітря	70HRC		
	ЦЕІЛ → закалка 830°C, повітря, відпуск 200°C, повітря	66HRC		
30Х13	ЦЕІЛ → закалка 950-1050°C, масло, відпуск 200°C, повітря	67 HRC		
	ЦЕІЛ → закалка 950-1050°C, повітря, відпуск 200°C, повітря	65 HRC		

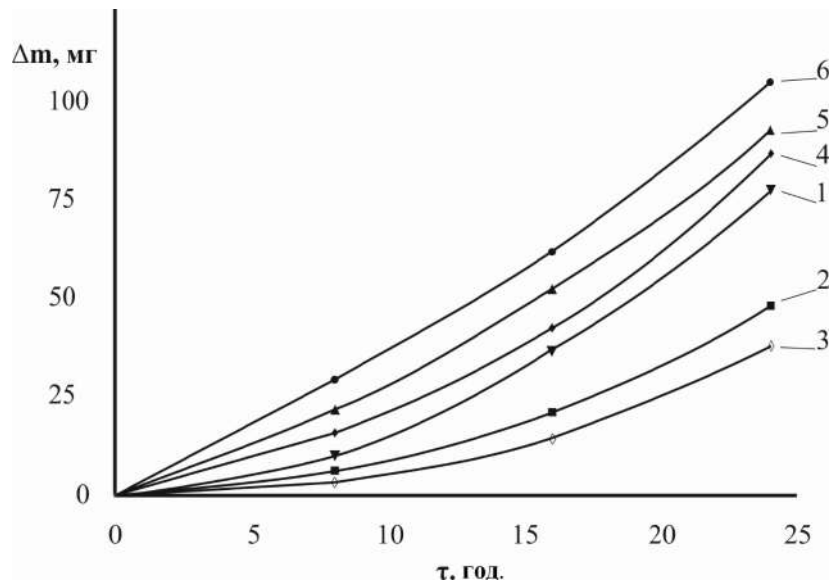


Рисунок 5.16 – Залежність гідроабразивного зносу (по втраті маси) від часу випробування сталевих зразків зміцнених ЦЕІЛ: 1 - сталь 65Г, гарт 830°C, охолодження повітря; 2 - сталь 30Х13, гарт 950-1050°C, охолодження масло; 3 - сталь 65Г, гарт 830°C, охолодження масло; 4 - сталь 30Х13, гарт 950-1050°C, охолодження повітря; 5 - сталь 40Х, гарт 860°C, охолодження масло; 6 - 40Х, гарт 860°C, охолодження повітря

Найкращі результати по гідроабразивній зносостійкості показали зразки зі сталі 65Г і 30Х13, загартовані в маслі.

Таким чином, в результаті проведених випробувань встановлено, що зносостійкість зразків сталі 65Г вище, ніж у зразків зі сталі 30Х13 і 40Х, при загартуванні в маслі відповідно в 1,33 і 3,01 рази; а при загартуванні на повітрі, відповідно в 1,13 і 1,33 рази.

До практичного застосування рекомендуються сегменти, виготовлені зі сталі 65Г і 30Х13, загартовані в маслі.

5.6 Оцінка відносної зносостійкості покриттів, застосовуваних для відновлення посадочних поверхонь шнеків

З метою оцінки зносостійкості відновлених посадочних поверхонь шийок шнеків під підшипники кочення, проводили випробування круглих зразків на машині тертя СМЦ-2 за схемою «кільце - плоский зразок», який служив конртілом.

Покриття на зразки зі сталі 12X18H10T наносили по комбінованим технологіям, представленим в табл. 5.4. Як контртіло використовували прямокутний зразок з твердого сплаву ВК8 з шорсткістю робочої поверхні $Ra = 1,6$ мкм. Для порівняння випробували зразки зі сталі 12X18H10T, термооброблені на твердість 140-170НВ. Інтегральний ваговий знос визначався по втраті маси зразка.

Випробування проводилися в умовах, коли нижня частина круглого зразка знаходилася у ванні з індустріальним маслом І40А. Швидкість ковзання становила 0,78 м / с, питомий тиск - 10 МПа, навантаження на контртіло - 100 Н, тривалість випробувань - 8 год, що відповідає шляху тертя 22,5 км. За допомогою реле часу регулювали час випробування і реверс обертання шпинделя зі зразком, при цьому напрямок обертання змінювали кожні 3 хв.

Результати випробувань занесені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 –Результати відносної зносостійкості зразків зі сталі 12X18H10T з комбінованими покриттями

Послідовність нанесення покриттів	Товщина покриття, мкм	Максимальна мікротвердість поверхневого шару, МПа	Ваговий знос $\times 10^3$, кг
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ	0,22	5500	0,126
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6	0,25	9500	0,066
ЦЕІЛ → ЕІЛА1 → ЕІЛТ15К6 → МПМ	0,35	11500	0,049
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований дротом	1,50	6000	0,118
Без покриття	-	1700	0,311

Наведені дані свідчать про те, що найбільший знос у зразка зі сталі 12X18H10T без покриття, а найменший з покриттям, сформованому за інтегрованої технології в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛA1→ЕІЛТ15К6 →МПМ.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що відносний знос зразків зі сталі 12X18H10T без покриття, відповідно, в 6,3; 4,7; 2,6 і 2,5 рази вище, ніж у зразків з покриттями, сформованими в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛA1→ЕІЛТ15К6 →МПМ; ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) →ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) →МПМ, армований твердим сплавом ВК6; ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) →ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) →МПМ, армований дротом і ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) →ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) →МПМ.

Слід зазначити, що комбіновані технології відновлення посадочних поверхонь під підшипники кочення можна використовувати для шнеків, виготовлених із сталей, що використовуються, як в центрифугах будь-якого призначення, так і в машинах, що застосовуються для збирання, переробки та утилізації гною.

5.7 Результати дослідження впливу способів обробки поверхонь шнека на механічні властивості

Для дослідження впливу різних методів зміцнення поверхонь шнека, на механічні властивості застосовуваних сталей, були виготовлені зразки, згідно ГОСТ 7855-84 (див. табл. 3.10).

Результати проведених досліджень зведені в табл. 5.5.

В результаті аналізу таблиці встановлено:

- застосування методу ЦЕІЛ призводить до підвищення міцності параметрів (границі текучості і межі міцності) зразків зі сталі 40Х, 65Г і 30Х13 в порівнянні з незміцненими на 2,8-3,5%. Пластичність при цьому незначно, на 1-2% знижується;

- формування на сталі 12X18H10T методом ЕІЛ покриттів з твердого сплаву Т15К6, з подальшим нанесенням неармованого і армованого твердим сплавом ВК6 МПМ, призводить до збільшення межі текучості і межі міцності,

відповідно, ~ на 5 і 7% з незначним, на 1-2% зниженням пластичності (відносне подовження і відносне звуження);

– ЦЕЕЛ і подальше нанесення ЕІАІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ, призводить до збільшення межі течучості і межі міцності ~ на 5,6% з незначним, на 1-2% зниженням пластичності.

Таблиця 5.5 – Вплив методів формування поверхневих шарів зразків на їх механічні властивості

Матеріал зразка	Застосовані методи	Межа текучості, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %
Сталь 40Х	ТО	1560	1760	8,0	35,0
	ЦЕЕЛ	1607	1813	7,1	34,0
Сталь 65Г	ТО	1790	2200	4,0	30,0
	ЦЕЕЛ	1844	2266	3,4	29,0
Сталь 30Х13	ТО	670	860	16,0	51,3
	ЦЕЕЛ	693	892	15,2	49,5
Сталь 12Х18Н10Т	ТО	196	510	40	55
	ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ	206	536	38	53
	ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) ЕІЛ Т15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ армований ВК6	221	574	38	50
	ЦЕЕЛ → ЕІАІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ	207	535	39	53

5.8. Результати досліджень впливу процесів зварювання, наплавлення зварюванням і ЕІЛ на екологічну безпеку

Нижче наведені порівняльні результати впливу зварювальних робіт і робіт при використанні ЕІЛ на зміни в складі повітря.

Для виявлення змін в складі повітря проведено мас-спектрометричний аналіз проби чистого атмосферного повітря в якості еталонного газу. У

вакуумну камеру напускають чисте атмосферне повітря до тиску $5 \cdot 10^{-4}$ Па, тобто в 250 разів більшої, ніж залишковий тиск. На рис. 3.17, **б** представлений мас-спектр чистого повітря, який в цілому повністю відповідає літературним даним [164, 165]. У мас-спектрі повітря фіксується сім основних піків з масами 28 а.о.м., 32 а.о.м., 14 а.о.м., 16 а.о.м. та 40 а.о.м., які належать іонам N_2^+ , O_2^+ , N^+ , O^+ і Ar^+ відповідно, і піки з масами 18 а.о.м. і 17 а.о.м., які належать іонам H_2O^+ і HO^+ відповідно. Найбільш інтенсивними мас-спектрометричними піками є піки молекулярного азоту N_2 і молекулярного кисню O_2 . На вставці рис. 3.17, **б** показані піки, які належать іонам C^+ , H_2O^+ , HO^+ , Ar^{++} , інтенсивність яких набагато менші інтенсивності піків молекулярного азоту N_2 і молекулярного кисню O_2 . Іони HO^+ і C^+ утворюються в джерелі іонів мас-спектрометра в результаті розкладання молекул H_2O і CO_2 при їх іонізації електронним ударом.

Порівнюючи інтенсивності мас-спектрометричних піків залишкової атмосфери вакуумної камери (рис. 3.17) можна зробити висновок, що останні більш ніж в 10000 разів перевищують інтенсивності мас-спектрометричних піків залишкової атмосфери, тому участю залишкової атмосфери вакуумної камери при проведенні аналізів складу як чистого повітря, так і газового середовища із зони проведення електрозварювання і ЕІЛ можна знехтувати.

На рис. 5.17 представлений мас-спектр газового середовища із зони проведення електрозварювання при напуску в вакуумну камеру до тиску $5 \cdot 10^{-4}$ Па. Як і в мас-спектрі чистого повітря найбільш інтенсивними мас-спектрометричними піками є піки молекулярного азоту N_2 і молекулярного кисню O_2 . Порівнюючи мас-спектри представлені на рисунках 3.17, **б** і 5.17, **а** відзначимо як кількісні, так і якісні їх відмінності. Так, в газовому середовищі із зони проведення електрозварювання значно більшу кількість вуглекислого газу CO_2 (мас-спектрометричний пік з масою 44 а.о.м.) та з'явився мас-спектрометричний пік з масою 30 а.о.м., який відповідає нестабільного іону NO .

Обидва газу є отруйними газами навіть в малих концентраціях [166]. Слідів озону O_3 мас-спектрометрично не виявлено.

На рис. 5.17, **б** представлений мас-спектр газового середовища із зони проведення ЕІЛ при напуску в вакуумну камеру до тиску $5 \cdot 10^{-4}$ Па. Як і в мас-спектрі чистого повітря найбільш інтенсивними мас-спектрометричними піками в основному є піки молекулярного азоту N_2 і молекулярного кисню O_2 . В цілому мас-спектр газового середовища із зони проведення ЕІЛ практично ідентичний мас-спектру чистого повітря. Незначні відмінності спостерігаються тільки в кількості водяної пари, що пов'язано, швидше за все, з різною вологістю повітря.

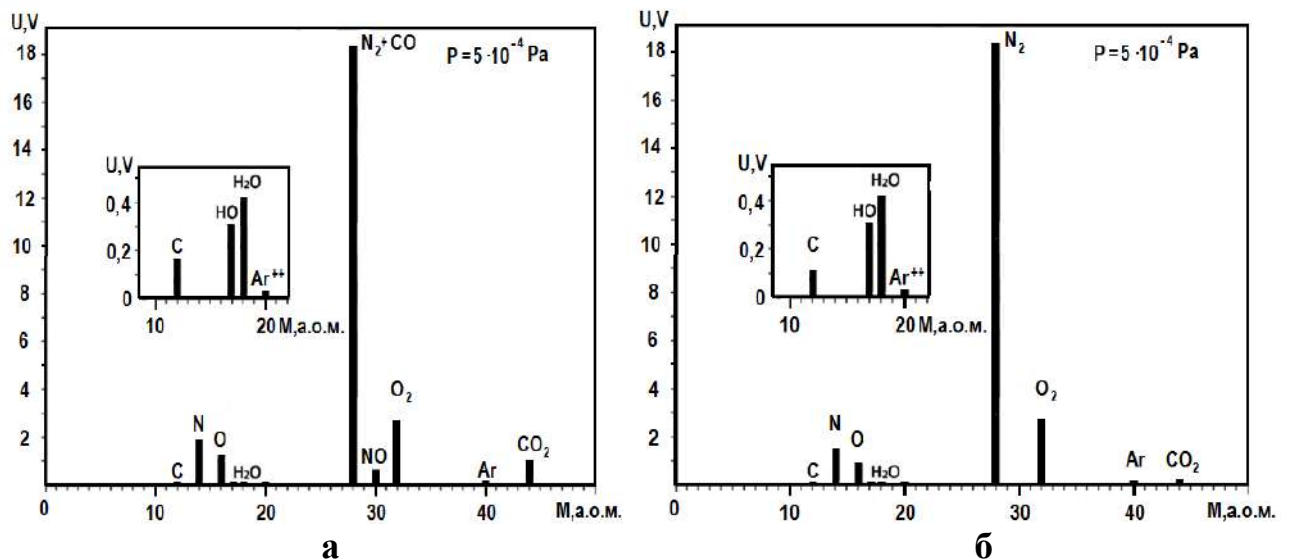


Рисунок 5.17–Мас-спектри газового середовища: із зони проведення електрозварювання (**а**) і ЕІЛ (**б**) при напуску в вакуумну камеру до тиску $5 \cdot 10^{-4}$ Па

На рис. 5.18 зображені порівняльні характеристики освітленості в приміщенні до (0,465 Lux) і при ЕІЛ (0,599 Lux) сталі 12X18H10Т електродом з твердого сплаву Т15К6, а також до (0,316 Lux) і при проведенні зварювальних робіт (6,2 kLux) при наплавленні на сталь 12X18H10Т зносостійкого покриття електродом марки ОК61. 30 \varnothing 2,5.

Таким чином, проведення порівняльних випробувань впливу зварювальних робіт і робіт на установці «Елітрон -52А» при використанні ручного ЕІЛ на зміни в складі повітря і на освітленість показало, що застосування технології ЕІЛ при формуванні товстошарових зносостійких КЕПІ з точки зору екологічної безпеки значно перевершує наплавку зносостійких покриттів електродами.



а

б



в

г

Рисунок 5.18 - Освітленість в приміщенні до (а) і при (б) ЕІЛ сталі 12Х18Н10Т електродом з твердого сплаву Т15К6 і до (в) і при (г) напавленні на сталь 12Х18Н10Т зносостійкого покриття електродом марки ОК61. 30 ø 2,5.

5.9 Технологічні рекомендації застосування технології виготовлення і ремонту шнеків центрифуг і машин з видалення, переробки та утилізації гною

При виготовленні і ремонті лопатей шнеків центрифуг зі сталі 20 (табл. 5.6), рекомендується застосовувати екологічно безпечну технологію, що включає виготовлення сегментів зі сталі 65Г або 30Х13 з попередньо

виконаними пазами або виточками. Сегменти зміцнюють методом ЦЕЛ і приєднують до лопатей шнека нероз'ємним з'єднанням у вигляді заклепок, гвинтів і т.п. Перед з'єднанням поверхні необхідно покрити МПМ.

При виготовленні і ремонті лопатей шнеків центрифуг з корозійно-стійких сталей 12Х18Н10Т (табл. 5.6) рекомендується технологію наплавлення на гвинтові поверхні шнека, описану вище, замінити на екологічно безпечну технологію нанесення товстошарових КЕП.

Таблиця 5.6 – Технологічні рекомендації по виготовленню лопатей шнеків центрифуг і машин з видалення, переробки та утилізації гною

Матеріал шнеку	Матеріал сегменту	Вид зміцнення	Твердість поверхні	Шорсткість Ra, мкм
Виготовлення та ремонт лопатей шнеків центрифуг				
*Допускається обробка при температурі (Т) до 45°С суспензій, що містять нейтральні і лужні солі, такі як нітрати натрію, кадмію, барію; анілінові барвники, солі кремнієвої та миш'якової кислот; сульфати і гідросульфати натрію, кальцію, магнію, цинку, барію, калію, кадмію; фосфати натрію і калію; хлорид натрію; хромати металів; ціаніди натрію та калію.				
Сталь 20	Сталь 65Г	ЦЕЛ	70 HRC	4,5
	Сталь 30Х13	ЦЕЛ	67 HRC	4,5
**Крім * допускається обробка при Т не вище 70°С суспензій, що містять: гідросульфат натрію, калію, кальцію; броміди і йодиди натрію і калію (до 30°С); солі міді всіх кислот крім соляної; силіцилову кислоту (до 30°С); сульфід металів; розчини сульфатів заліза і міді, що містять до 10% сірчаної кислоти; ацетати алюмінію, міді, свинцю; фосфати (гідрофосфати) натрію, калію, кальцію, барію, стронцію, магнію, цинку (до 30°С).				
Сталь 12Х18Н10Т	Сталь 12Х18Н10Т	ЦЕЛ → ЕІАІ → ЕІТ15К6 → ППД → МПМ, армований ВК6 → ПД	11000 МПа	1,0
Крім ** допускається обробка при Т не вище 60-65°С суспензій, до складу яких входять такі сполуки: сульфат амонію, що містить до 10% (до 40°С) вільної сірчаної кислоти; ацетати всіх металів, що містять вільну оцтову кислоту.				
Сталь 10Х17Н13М2Т	Сталь 12Х18Н10Т	ЦЕЛ → ЕІАІ → ЕІТ15К → ППД → МПМ, армований ВК6 → ПД	11000 МПа	1,0
Виготовлення та ремонт лопатей шнеків машин з видалення, переробки та утилізації гною				
Сталь 20, 40, 40Х, 65Г, 30Х13	Сталь 65Г	ЦЕЛ	70 HRC	4,5
	Сталь 30Х13	ЦЕЛ	67 HRC	4,5

Товстошарове КЕПІ наносять на сегменти з попередньо виконаними пазами або виточками, які з'єднуються, відповідно, з конусною і циліндричною гвинтовою поверхнею шнека нероз'ємним з'єднанням у вигляді заклепок, гвинтів і т.п.

При виготовленні і ремонті лопатей шнеків центрифуг з корозійностійкої сталі 10X17H13M2T (табл. 5.6), рекомендується технологію механічного кріплення до лопатей твердосплавних пластин, замінити нанесенням на сегменти з цієї ж сталі товстошарових КЕПІ, які з'єднують з лопатями нероз'ємним з'єднанням у вигляді заклепок, гвинтів і т.п.

При виготовленні і ремонті лопатей шнеків машин з видалення, переробки та утилізації гною з Сталі 20, 40, 40Х, 65Г, 30Х13 (табл. 5.6), рекомендується застосовувати екологічно безпечну технологію, що включає виготовлення сегментів зі сталі 65Г або 30Х13 з попередньо виконаними пазами або виточками. Сегменти зміцнюють методом ЦЕЛІ і приєднують до лопатей шнека нероз'ємним з'єднанням у вигляді заклепок, гвинтів і т.п. Перед з'єднанням поверхні необхідно покрити МПМ.

При відновленні зношених поверхонь шнеків центрифуг і машин з видалення, переробки та утилізації гною під підшипники кочення рекомендується застосовувати нові комбіновані технології, представлені в табл. 5.7.

Нижче приведений укрупнений розрахунок часу роботи транспортеру до повного зносу лопатей.

Згідно [167] число включень транспортеру для видалення гною $n_{\text{вкл}} = 2$, а включення провадяться за 1 годину до роздачі кормів. Тобто за добу транспортер працює $T_{\text{д}} = 2 \cdot 1 = 2$ години, а за рік 730 годин.

Для визначення більш раціональної марки сталі, яка використовується при виготовленні сегментів, призначених для заміни зношених ділянок лопатей шнеку проводили порівняльні випробування зразків сталі 40Х, 65Г і 30Х13 на стійкість проти абразивного зносу. Методика випробувань детально описана в

розділі 3. Лінійний знос зразків вимірювали мікрометром. Експеримент проводився на протязі 24 годин, що відповідає наробітку 12 діб.

Таблиця 5.7 – Технологічні рекомендації по відновленню поверхонь шнеків центрифуг і машин з видалення, переробки та утилізації гною під підшипники кочення

Матеріал шнеку	Матеріал сегменту	Вид зміцнення	Твердість поверхні	Шорсткість Ra, мкм
Сталь 20, 40, 40X, 65Г, 30X13, 12X18Н10Т, 10X17Н13М2Т	Сталь 65Г, 30X13, 12X18Н10Т, 10X17Н13М2Т	Знос: до 0,22 мм - ЕЛТ15К6 →МПМ;	5500	0,8-1,0
		до 0,25 мм - ЕЛ Т15К6 →МПМ, армований ВК6;	9500	0,8-1,0
		до 0,35 мм - ЦЕЛ→ЕЛІАІ→ЕЛТ15К6→ МПМ;	11500	0,8-1,0
		до 1,5 мм - ЕЛТ15К6→МПМ, армований дротом.	6000	0,8-1,0

Зразки після термообробки згідно табл. 5.1 (закалювання і відпуску) встановлювали в прилад по два від кожної марки сталі. При цьому один зразок розташовували для зношування стороною на якій проводили зміцнення методом ЕЛ, а інший зворотною стороною.

Лінійний знос зразків в залежності від часу випробувань представлений в табл. 5.8.

Таблиця 5.8 - Залежність зносу від наробітку

Час дослідів, Т, год	Δh, мкм					
	65Г		30X13		40X	
	Твердість поверхні HRC		Твердість поверхні HRC		Твердість поверхні HRC	
	70	62	65	59	61	48
24	2,5	3,0	2,0	3,5	2,5	4,0
48	4,0	6,0	4,5	7,0	5,0	7,5
72	6,5	8,5	7,0	10,5	7,5	11,5
	Загальний знос		Загальний знос		Загальний знос	
	15,0		17,5		19,0	

Згідно [167] товщина лопаті шнеку складає 3,0 мм (3000 мкм). При роботі шнеку її зношування протікає з обох сторін. При цьому сторона з меншою твердістю зношується більше і край лопаті приймає форму скребка. Знос лопаті із за втрати міцності не може перевищувати половини її товщини, тобто 1500 мкм.

Таким чином, процес зношування відбувається на умовно-лінійній ділянці експоненціально зростаючої кривої сталого зношування (див. п. 2.3). Це дає можливість розрахувати знос лопатей зі сталі 65Г, 30Х13 і 40Х за годину, за рік і термін їх служби до ремонту (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Результати розрахунку терміну служби шнеків для очистки гною з лопатями зі сталі 65Г, 30Х13 і 40Х

Матеріал лопатей шнеку	Знос за одну годину, мкм	Знос за рік, мкм	Термін служби, років
65Г	0,21	153,3	9,78
30Х13	0,24	175,2	8,56
40Х	0,26	189,8	7,90

Проведені дослідження дозволили рекомендувати нову екологічно безпечну технологію виготовлення і ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі утилізації гною та центрифуг, які використовують для очистки стічних вод до впровадження в виробництво. В табл. 5.10 наведені результати промислової апробації результатів дисертаційного дослідження.

Таблиця 5.10 – Промислова апробація отриманих результатів

№ зп	Назва підприємства	Економічний ефект, грн
1	ПСПАФ «Соснівська» Конотопського району	47 000
2	ТОВ «Хлібодар» Сумського району	52000
3	КП «Міськводоканал»	93 000

Загальний очікуваний економічний ефект становить 192 тис. грн.

5.10 Висновки по розділу 5:

1. Розроблено екологічно безпечна технологія відновлення і одночасного зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі, яка включає видалення зношеної частини і заміну її окремим сегментом з попередньо виконаним пазом або виточкою, який з'єднується з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕІЛ.

2. Запропоновано екологічно безпечний спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т з КЕП на плоских і / або криволінійних поверхнях, що зношуються. Застосування ЕІЛ в комбінації з ППД, ПД і нанесення МПМ, дозволяє цілеспрямовано керувати структурою і параметрами якості поверхневого шару найбільш відповідальних елементів деталей машин. Товщина сформованого покриття становить $\sim 1,3$ мм, мікротвердість поверхневого шару 10500-11000 МПа, при 100% суцільності і шорсткості $R_a \sim 1,0$ мкм.

3. Розроблена екологічно безпечна технологія зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕІЛ, застосування якої супроводжується: значним (на порядок) зниженням витрат електроенергії і часу на термообробку; відсутністю поводок і короблення, а отже і необхідності додаткової механічної обробки для їх усунення після термообробки.

4. Розроблено гама технологічних процесів екологічно безпечного відновлення і одночасного зміцнення посадкових місць шнеків під підшипники кочення, що дозволяє в залежності від величини зносу, застосовувати різні технології: до 0,22 мм - ЕІЛТ15К6 \rightarrow МПМ; до 0,25 мм - ЕІЛТ15К6 \rightarrow МПМ, армований твердим сплавом ВК6; до 0,35 мм - ЦЕІЛ \rightarrow ЕІЛА1 \rightarrow ЕІЛТ15К6 \rightarrow МПМ; до 1,5 мм - ЕІЛТ15К6 \rightarrow МПМ, армований дротом.

5. В результаті досліджень зразків сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями на гідроабразивний знос встановлено, що зносостійкість КЕП, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ \rightarrow ЕІЛА1 \rightarrow ЕІЛТ15К6 \rightarrow ППД \rightarrow МПМ, армований ВК6 \rightarrow ПД, відповідно, на 820%; 550%; 160%; 120%; і 110% більше

зразків без покриття; ЕІЛТ15К6; ЕІЛТ15К6 →МППМ; наплавка стеліту; ЕІЛТ15К6 →МППМ→ЛО.

6. Встановлено, що стійкість проти гідроабразивного зносу у зразків сталі 65Г вище, ніж у зразків зі сталі 30Х13 і 40Х, при загартуванні в маслі, відповідно на 33% і 31%; а при загартуванні на повітрі, відповідно на 13% і 33%.

7. В результаті досліджень відносної зносостійкості покриттів зразків зі сталі 12Х18Н10Т, застосовуваних для відновлення посадочних поверхонь шнеків встановлено, що знос зразків зі сталі 12Х18Н10Т без покриття, відповідно, на 630%; 470%; 260% і 250% вище, ніж у зразків з покриттями, сформованими в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛА1→ЕІЛТ15К6 →МППМ; ЕІЛТ15К6 →МППМ, армований твердим сплавом ВК6; ЕІЛТ15К6 →МППМ, армований дротом і ЕІЛТ15К6 →МППМ.

8. Дослідження впливу зварювальних робіт на зміни в складі повітря показали, що в зоні проведення електрозварювання при наплавленні на сталь 12Х18Н10Т зносостійкого покриття електродом марки ОК61.30 \varnothing 2,5 мм з'являється значно більша кількість вуглекислого газу CO_2 (маспектрометричний пік з масою 44 а. о. м.) і утворюються нестабільні іони NO (маспектрометричний пік з масою 30 а. о. м.), тобто виникають гази, які є отруйними навіть в малих концентраціях. Слідів озону O_3 за допомогою маспектрометра не виявлено.

9. При дослідженні хімічного складу газового середовища в зоні проведення робіт при ЕІЛ сталі 12Х18Н10Т на установці «Елітрон -52А» електродом-інструментом з твердого сплаву Т15К6 з енергією розряду 3,4 Дж встановлено, що мас-спектр газового середовища практично ідентичний мас-спектру чистого повітря. Незначні відмінності спостерігаються тільки в кількості водяної пари, що пов'язано, швидше за все, з різною вологістю повітря.

10. За матеріалами розділу опубліковані наступні роботи [130-135, 137-162].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Розроблено систему спрямованого вибору найбільш ефективної технології захисту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней та великої рогатої худоби і центрифуг з очищення стічних вод, які працюють з постійним навантаженням у важких умовах гідроабразивного зносу, та негативного оточуючого середовища.

2. Запропоновано нову технологію відновлення й зміцнення зношених поверхонь деталей екологічно безпечним методом ЕІЛ, що забезпечує найбільшу товщину й суцільність покриття при мінімальному збільшенні шорсткості сформованої поверхні (патент UA на корисну модель №138052).

3. Удосконалено комбіновану технологію відновлення посадкових поверхонь деталей, що включає екологічно безпечні методи ЕІЛ і нанесення МПМ, що забезпечує шляхом армування останніх, підвищення твердості й міцності нанесеного покриття (патент UA на винахід № 117980).

4. Розроблена нова технологія одночасного відновлення і зміцнення шнеків з нержавіючої сталі 12X18H10T, шляхом нанесення КЕП, сформованого в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛІАІ→ЕІЛТ15К6 у якого зона підвищеної твердості досягає 360 мкм, шорсткість поверхні $Ra = 7,5$ мкм, мікротвердість поверхневого шару становить 11500 МПа (патент UA на винахід №136895).

5. Розроблена екологічно безпечна технологія зміцнення деталей з листової сталі методом ЦЕІЛ, застосування якої супроводжується: значним (на порядок) зниженням витрат електроенергії й часу на термообробку; відсутністю повідець і жолоблень, а отже й необхідності додаткової механічної обробки для їхнього усунення після термообробки (патент UA на корисну модель № 141992).

6. Розроблено нову комбіновану технологію формування на круглих, плоских і криволінійних поверхнях шнека зносостійких товстошарових

покриттів, сформованих екологічно безпечними методами в послідовності: ЦЕІЛ→ЕІЛАІ→ЕІЛТ15К6→ППД→нанесення МПМ, армованого ВК6→ПД, товщина яких становить ~ 1,3-1,5 мм, мікротвердість до 11,0 ГПа, суцільність 100% і шорсткість, Ra ~ 1,0 мкм (патенти UA на корисну модель № 141919, 141920, 142338).

7. Запропоновано замінити екологічно небезпечну технологію приварювання сегментів зі зносостійкими покриттями на зношені ділянки лопатей шнеків на екологічно безпечну, яка полягає в прикріпленні механічним способом (патенти UA на корисну модель № 140467 і 140468).

8. Розроблені і впроваджені в виробництво технологічні рекомендації виготовлення і ремонту шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною та центрифуг для очищення стічних вод, екологічно безпечними методами з очікуваним економічним ефектом 197 тис. грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Саблук П.Т. Роль и место сельского хозяйства в экономике современной Украины. АБУ, 2010. №4 (70). С. 439-443.
2. Лаврук А., Лаврук В. Проблемы возрождения и развития отрасли животноводства в Украине. *Przegląd Wschodnioeuropejski*. 2019. Т 10. Вып. 1. С. 201-213.
3. Проект Закону про затвердження Загальнодержавної програми селекції у тваринництві на період до 2010 року URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1176-IV#Text>
4. Демчук М.В., Решетник А.О., Лайтер-Москалюк С.В. Проблеми утилізації гною в сучасному тваринництві. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З.Гжицького*. 2010. Т. 12. № 3(45). Част. 4. С. 188-195.
5. Вербицький П.І. Пріоритетні напрямки розвитку тваринництва в Україні. *Ефективне тваринництво*. 2007. № 4. С. 14-17.
6. Дубін О.М. Утилізація трупів тварин та знезаражування гною. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2010. Вип. 71. С. 210-216.
7. Денисов, В.А. Автоматизированные системы удаления навоза из животноводческих помещений. *Международный научно-технический семинар. Проблемы разработки автоматизированных технологий и систем автоматического управления сельскохозяйственного производства*. – Москва, 2002. С. 210-213.
8. Ткачук О.Д., Повод М.Г. Мікроклімат приміщень та продуктивні показники свиней за різних умов їх дорощування в осінньо-зимовий період. *Науково-технічний бюлетень ІТ НААН*. 2016. № 115. С. 208-214.
9. Вплив мікроклімату на ефективність вирощування свиней / В.М.°Бугаєвський, О.М. Остапенко, М.І. Данильчук та ін. *Аграрник*. 2009. №°12. С. 12 - 13.

10. Пригодін А. Мікроклімат тваринницьких приміщень і його вплив на здоров'я та продуктивність тварин у ЗАТ Бахмутський Аграрний Союз. *Ветеринарна медицина України*. Київ, 2004. №11. С. 42.

11. Підвищення реалізації генетичного потенціалу продуктивності свиней порід ландрас і уельс за відтворювальними та відгодівельними якостями: науково- метод. посіб. / Церенюк О. М., Корх І. В., Акімов О. В. та ін. НААН Інститут тваринництва. Харків, 2015. – 80 с.

12. Басыров В.С. Совершенствование технологической линии уборки и транспортировки навоза в помещениях для содержания крупного рогатого скота на 50-100 голов : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Саранск, 2004. 11с.

13. Китиков, В.О., Башко Ю.А. Переоснащение молочно-товарных ферм республики Беларусь современными технологическими средствами для удаления и утилизации бесподстилочного навоза. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2012. № 4 (8). С. 72-81.

14. Долгов В.С. Гигиена уборки и утилизации навоза. – Москва, Россельхозиздат, 1984. 175 с.

15. Текучев И.К., Черновол Ю.Н. Результаты исследований процесса уборки навоза из коровников установкой порционного действия. *Вестник ВНИИМЖ*. 2013. №4(12). С. 154- 158.

16. Текучев И.К. Перспективные технологии и технические средства для молочного скотоводства. Подольск: ВНИИМЖ, 2000. 580 с.

17. РД-АПК 1.10.15.02-08. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. Москва, 2008. 93 с.

18. Мишуров Н.П. Рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. *Вестник ВНИИМЖ*. 2018. №4(32). С. 44-56.

19. Горизонтальные шнеки для навоза. URL.: <https://www.mclanahan.ru/products/horizontal-manure-augers/>

20. Лукашевич Н.М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета: учебное пособие. Мозырь: Издательский дом «Белый ветер», 2000. 248 с.

21. Текучев И.К., Кормановский Л.П., Иванов Ю.А. Инновационные технологии производства молока. Подольск: ВНИИМЖ. 2011. 197 с.

22. Результаты испытаний комплекта шнековых транспортеров для уборки навоза / М.П. Митяшин и др. *Совершенствование механизированных технологий уборки и переработки навоза*: сб. науч. тр.: Подольск: ВНИИМЖ, 1992. С.10-15.

23. Рекомендации по системам удаления, транспортирования, хранения и подготовки к использованию навоза для различных производственных и природно-климатических условий / Н.М. Морозов и др. М., ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 180 с.

24. Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Основные направления повышения эффективности функционирования систем уборки и подготовки навоза к использованию. *Сборник научных трудов*. Подольск: ВНИИМЖ, 2010. Т. 21. Часть 3. С.157-162.

25. Гаджиев Ф.Г. Энергетическая оценка экспериментального смесителя кормов. *Техника в сельском хозяйстве*. 1994. № 3. С.23-24.

26. Укладывающие шнеки. URL.: <https://www.mclanahan.ru/products/stacking-augers/>

27. Агрономические рекомендации по подготовке и использованию бесподстилочного навоза для удобрений. Москва: Колос, 1982. 40 с.

28. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 25.06.2012). URL.: [http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc; base=LAW;n=131680;dst=0;ts=53F492BA5DEFC1B70BAE1C8ED2E133F6; ts=882089BAA44723D1EA971BC238183676](http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=131680;dst=0;ts=53F492BA5DEFC1B70BAE1C8ED2E133F6;ts=882089BAA44723D1EA971BC238183676) / (29.09.2012).

29. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод : учеб. пособие. Вологда: ВоГТУ, 2003. 152 с.

30. Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод : Вологда: ВоГТУ, 2002. 127 с.

31. Бондарь С.Н., Чабанова А.А. Инновационные методы очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности. *Харчова наука і технологія*. 2013. С. 94-98.

32. Швецов В.Н., Морозова К.М., Киристаев А.В. Преимущества биомембранных технологий для биологической очистки стоков. *Экология производства*. 2005. № 11, С. 76-80.

33. Швецов В.Н., Морозова К.М., Пушников М.Ю., Киристаев А.В., Семенов М.Ю. Перспективные технологии биологической очистки сточных и природных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2005. №12 (Часть 2), С. 17-25.

34. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. 188 с.

35. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачев Е.А. Водоотведение : учебник. Москва : ИНФРА-М, 2007. 415 с.

36. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности (основы энвайронменталистики). Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. 800 с.

37. Гребенюк В.Д. Обессоливание воды ионитами. Москва: Химия, 1980. 256 с.

38. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. Москва : АКВА-РОС, 2003. 512 с.
39. Воронов Ю.В., Берцун С.П. Биологическая очистка сточных вод пивоваренных заводов. *Вестник МГСУ*. 2014. № 3. С. 205—211.
40. Додаток 5 до Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення (пункт 3 розділу IV) Наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України №316 від 01.12.2017р. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE31508.html
41. Дьяконов Г.С. Нано – основа технологий будущего. *TopBuilder*, 2009. №1. С. 24.
42. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / Отдел по датскому сотрудничеству в области окружающей среды в Восточной Европе (ДАНСЕЕ); Министерство природных ресурсов Российской Федерации. Москва: 2001. 254 с.
43. Карттунен Э. Водоснабжение II. Санкт-Петербург: Новый журнал, 2005. 688 с.
44. Николадзе Г.И. К вопросу кондиционирования подземных вод. *Известия жилищно-коммунальной академии: Городское хозяйство и экология*. 1998, №3. С. 3.
45. Нурканов Ж.Е. Перспективные мембранные технологии для очистки и повторного использования сточных вод при модернизации канализационных очистных сооружений. *Водные ресурсы и водопользование*. 2007. №4 (39). С. 2-3.
46. Кионг Янг и др. Контроль загрязнения погружных мембран в мембранных биореакторах с пористой плавающей загрузкой. *Вода и экология*. 2008. №1. С. 33-46.

47. Ланглэ К., Кордые М. Способ обработки сточных вод мембранным биореактором: пат. 2321552 Российская Федерация. №2005112241/15; заявл. 23.09.2003; опубл. 10.04.2008, Бюл. №10.

48. Тилерт Х. Способ очистки сточных вод коксохимического производства с помощью газонепроницаемой мембраны: пат. 2005136658 Российская Федерация. №°2005136658/15; заявл. 30.03.2004; опубл. 20.03.2006, Бюл. №8.

49. Корчалин В.И., Склядиев Е.В., Бралишников Е.Б. Способ очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества и неорганические соли: пат. 2004117684 РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ. №2004117684/15; заявл. 10.06.2004; опубл. 20.11.2005, Бюл. №32.

50. Мачигин В.С., Лялин В.А. Способ очистки жиросодержащих сточных вод: пат. 2184084 Российская Федерация. № 2000125674/12; заявл. 13.10.2000; опубл. 27.06.2002, Бюл. №18.

51. Кретов И.Т., Востриков С.В., Клочников А.И., Клочникова Д.В. Мембранный аппарат для фильтрации вязких жидкостей: пат. 2251446 Российская Федерация. № 2004106068/15; заявл. 01.03.2004; опубл. 10.05.2005, Бюл. № 13.

52. Кудрявцев В.А., Яцун С.Ф., Кудрявцева Л.Е., Кувардина Е.М., Чеховский°И.Р. Способ ультрафильтрации и устройства для его реализации: пат. 2228788 Российская Федерация. № 2002120179/12; заявл. 24.07.2002; опубл. 20.05.2004, Бюл. № 14.

53. Лукьяненко В.М., Таранец А.В. Центрифуги: изд. Москва: Химия, 1988. 384 с.

54. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник. / В.Д. Дмитриев, Д.А. Коровий, А.И. Кораблев, Г.П. Медведев, Б.Г. Мишуков, М.П. Наумов, Г.С. Чистова. Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988, 384 с.

55. Теория и конструкция систем экологической безопасности: учеб. пос. / А.В. Бетин, Н.В. Бондарева, Т.С. Клименко, М.Н. Мурин, Н.В. Нечипорук. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. 144 с.

56. Промывка и отбелка целлюлозы: учеб. пос. / Г.В. Комарова, Т.А. Королёва, Ю.В. Севастьянова, Я.В. Казаков, В.И. Белоглазов, Л.А. Миловидова. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2013. 212 с.

57. Яковлев В.Н. Ремонт оборудования машиностроительных заводов. Москва: Машгиз, 1962. 292 с.

58. Саржанов О.А., Саржанов Б.О. Аналіз методів ремонту відповідальних деталей центрифуг для стічних вод. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*, Суми, 2016. № 10/3 (31), С. 58-62.

59. Centrifuge repairs, rebuilds, and retrofits. URL: <http://www.rernet.com/>

60. URL: http://haus.archerseparation.com/images/Brochures/DECANTER_CENTRIFUGE_ENGLISH.pdf

61. Overhauls of centrifuges. URL: <http://spomasz-wronki.com.pl/overhauls-of-centrifuges/?lang=en>

62. Изготовление и поставка рабочих лопаток для декантеров, работающих в условиях ГОКов, металлургических предприятий и т.д. по чертежам заказчика. URL: <http://www.sabaros.ru/docs/decanter.pdf>

63. Centrifuge Repair. URL: <http://www.pinnacleindustrial.com/centrifuge-repair>

64. Pieralisi Group. URL: <http://www.pieralisi.com/>

65. Thermal spray coatings with carbides for decanter screw. URL: <https://youtu.be/wGfdhBnDhJ4>

66. Флуітек Системз. URL: <http://fluitech.com.ua/services/vosstanovlenie-shnekovyih-tsentrifug/>

67. Михайлов Б.Н. Гальванотехника. Иркутск: ИрГТУ, 2010. 284 с.
68. Виноградов С.С. Экологическая опасность растворов и электролитов. *Экология и промышленность России*. 1997. №7. С. 17-19.
69. Колесников В.А. Ильин В.И. Экономические основы природоохранных мероприятий в гальваническом производстве. *Экология промышленного производства*. 2005. Вып 3. С. 5-6
70. Соложенкин П.М. Теоретические основы и практические аспекты гальванохимической очистки сточных вод. *Вода и экология*. 2008. № 1. С. 12-32
71. Виноградов С.С. Экологическая опасность гальванического производства, её оценка и снижение с минимальными затратами. *Сборник тезисов докладов Международной конференции "Электрохимия, гальванотехника и обработка поверхности"*. Москва, 2001. С 21.
72. Большаков Н.Ю. Ващенко В.В. Минимизация вторичных загрязнений при обработке осадков сточных вод. *Вода и экология. Проблемы и решения*. 2011. № 1. С. 27-32.
73. Королева Е.Б., Жигилей О.Н., Кряжев А.М., Сергиенко О.И., Сокорнова Т.В. Наилучшие доступные технологии: опыт и перспективы. Санкт-Петербург: Экопрофи, 2011. 123 с.
74. Кудинов В.В., Бобров, Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Москва: Металлургия. 1992. 432 с.
75. Борисов Ю.С., Петров С.В. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления. *Автоматическая сварка*. 1995. №1. С. 41-44.
76. Плазменное напыление. URL: <http://weldzone.info/technology/gas-sputtering/811-plazmennoe-napylenie>

77. Ключкова Е.А. Охрана труда на железнодорожном транспорте: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. Москва: Маршрут, 2004. 412 с.

78. Другов Ю.С., Березкин В.Г. Газохроматографический анализ загрязнённого воздуха. Москва: Химия, 1981, 256 с.

79. Экологические проблемы MIG/MAG сварки. URL: <http://electrowelder.ru/index.php/news/49-cvat-texn/926-ecological-problems-of-mig-mag-welding.html>

80. Лупачева Е.А. Образование биологически активных веществ в зоне горения дуги при сварке в защитных газах. *Защита окружающей среды, здоровье. Безопасность в сварочном производстве*: труды 1-й Международной научно-практической конференции. Одесса, 11-14 сентября 2002 г. Одесса, 2002. С. 456-466.

81. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] ; под ред. В.П. Иванова. Москва: Машиностроение, 2003. 672 с.

82. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. Москва: Транспорт, 1994. 256 с.

83. Ельцов В.В. Оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин и аппаратов. CD альбом презентаций: наглядное учеб. пособие. Тольятти : ТГУ, 2009. 702 с.

84. Восстановление деталей машин: справочник / Н.В. Молодык, А.В. Зенкин. Москва: Машиностроение, 1989. 480 с.

85. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : учеб. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 204 с.

86. Разработка схемы технологического процесса для восстановления деталей машин сваркой : учеб.-метод. пособие / сост. В.В. Ельцов. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. 95 с.

87. Брауде М.З. Охрана труда при сварке в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1978. 144 с.
88. Елманов В.И., Терновая Г.Г. Охрана атмосферного воздуха. Москва: Юрид. лит, 1984. 112с.
89. Гуляев А. П. Металловедение. Москва: Металлургия, 1977. 646 с.
90. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: справочник. Москва: Машиностроение, 1986. 319 с.
91. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1990. 528 с.
92. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В.Д. Зозуля, Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун; Отв. Ред. И.М. Федорченко. АН УССР. Ин-т проблем материаловедения. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Наук. думка, 1990. 264 с.
93. Денисова Н.Е., Шорин В.А., Гонтарь И.Н., Волчихина Н.И., Шорина Н.С. Триботехническое материаловедение и триботехнология: учеб. пособие / под общей редакцией Н.Е.Денисовой. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. 248 с.
94. Фрумин Г.Т. Техногенные системы и экологический риск. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2018. 136 с.
95. Ремонт автомобілів: навчальний посібник / упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
96. Михайлов В.В., Бачу К.А., Пасинковский Е.А., Перетятку П.В. К вопросу электроискрового легирования титана и его сплавов. *Электронная обработка материалов*, 2006, № 3, С. 106–111.
97. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.

98. Михайлов В.В., Гитлевич А.Е., Верхотуров А.Д., Михайлюк А.И., Беяков А.В., Коневцов Л.А. Электроискровое легирование титана и его сплавов, физико-технологические аспекты и возможность практического использования. Краткий обзор. Часть I. Особенности массопереноса, структурные и фазовые превращения в поверхностных слоях, их износ и жаростойкость. *Электронная обработка материалов*, 2013, 49(5), 21–44.

99. Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Белоус А.В. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием: пат. 2337796 Российская Федерация №2006135256/02; заявл. 05.10.2006; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 31.

100. Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Братушак М.П. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием: пат. 2468899 Российская Федерация № 2011130369/02; заявл. 20.07.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 34

101. Пячин С.А., Бурков А.А., Комарова В.С. Формирование и исследование электроискровых покрытий на основе алюминидов титана. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2013. № 6. С. 16–24.

102. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Белоус А.В., Гапонова О.П., Коноплянченко Є. В., Антошевський Б., Кундера Ч., Жуков О.М. Спосіб обробки поверхонь сталевих деталей: пат. u201701845 Україна. № 119316; заявл. 27.02.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

103. Величко С.А., Сенин П.В., Иванов В.И., Чумаков П.В. Формирование толстослойных электроискровых покрытий для восстановления изношенных деталей силовых гидроцилиндров. *Электронная обработка материалов*. 2016. № 52(5). С.13–20.

104. Особенности электропереноса при электроискровом легировании в системе керамика-керамика. / В.М. Панашенко, И.А.

Подчерняева, А.Д. Панасюк, Д.В. Юречко. Электрические контакты и электроды. К.: ИПМ НАН Украины, 2010. С. 160-171.

105. Подчерняева И.А., Панасюк А.Д., Затуловский С.С. и др. Структурообразование и массоперенос износостойких покрытий при электроискровом легировании Al-Si сплавов композиционной керамикой $\text{LaB}_6\text{-ZrB}_2$. *Сверхтвёрдые материалы*. 2003. № 6. С. 50–59.

106. Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А., Панашенко В.М., Коневцов Л.А. Электроискровое легирование титана и его сплавов металлами и композиционными материалами / под ред. А.А. Буренина. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2014. 320 с.

107. Verbitchi V., Ciuca C., Cojocar R. Electro-spark coating with special materials. *Nonconventional Technologies Review*. 2011. №1. P. 62–67.

108. Depczyński Wojciech, Radek Norbert. Properties of elektro sparc deposited stellite coating on mild steel. *Proceedings “Metal-2013”*. 2013. Brno, Czech Republic, EU. P. 1045–1050.

109. Иванов В.И. Увеличение толщины электроискровых покрытий. Состояние вопроса: Часть 1. Причины ограничения толщины покрытий: труды ГОСНИТИ, 2013. Т. 113. С. 429–434.

110. Иванов В.И. Увеличение толщины электроискровых покрытий. Состояние вопроса: Часть 2. Методы увеличения толщины покрытий: труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 113. С. 450–456.

111. Алимбаева Б.Ш., Миловидов Е.Н. Восстановление деталей электроискровым легированием. *Совершенствование системы эксплуатации ВВСТ*: материалы межвуз. науч.-практ. конф. Омск ОАБНИ, 2014. С. 126-129.

112. Tarellyk V., Martsynkovskyy V., Dziuba A. New Method of Friction Assemblies Reliability and Endurance Improvement. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 630. P. 388-396. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.630.388

113. Фельдштейн, Е.Э., Кардаполова М.А., Хородыски Г.Б., Кавальчук О.В. Трибологические характеристики покрытий, полученных электроискровым легированием с последующим лазерным упрочнением. *Трение и износ*. 2013. Том 34. № 2. С. 175-180.

114. Antoszewski B., Tarellyk V. Laser Texturing of Sliding Surfaces of Bearings and Pump Seals. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 630. P. 301-307. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.301>

115. Михайлюк А.И., Рапопорт Л.С., Гитлевич А.Е. Влияние поверхностно-пластической деформации на характеристики искровых покрытий на основе железа. Сообщение 1. *Электронная обработка материалов*. 1991. № 1. С. 16-19.

116. Михайлюк А.И., Рапопорт Л.С., Гитлевич А.Е. Влияние поверхностно-пластической деформации на характеристики искровых покрытий на основе железа. Сообщение 2. *Электронная обработка материалов*. 1991. № 2. С. 17-20.

117. Tarellyk V.B., Gaponova O.P., Konoplianchenko Ye.V., Martsynkovskyy V.S., Tarellyk N. V., Vasylenko O. O. Improvement of Quality of the Surface Electroerosive Alloyed Layers by the Combined Coatings and the Surface Plastic Deformation. III. The Influence of the Main Technological Parameters on Microgeometry, Structure and Properties of Electrolytic Erosion Coatings, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 2019. Vol. 41, No. 3. P. 313–335. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.41.03.0313>

118. Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Іщенко А.О. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти): пат. 104664. Україна. № а201209838; заявл. 14.08.2012; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.

119. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д., Голяк О.Л. Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование. Москва: Транспорт, 1995. 303 с.

120. Бугаев А.А., Перевертун А.И., Скороход В.А. и др. Многопозиционная полуавтоматическая установка для электроискрового легирования. *Электронная обработка материалов*, 1976. № 5. С. 69-72.

121. Тарельник В.Б. Управление качеством поверхностных слоев комбинированным электроэрозионным легированием. Сумы: МакДен, 2002. 324 с.

122. Проект закону України про промислову безпеку від 07.03.2008р. № 2201. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/JF1P500V.html

123. Шматько В.Г., Нікітін Ю.В. Екологія і організація природоохоронної діяльності: навч. посіб. Київ: Національна академія управління, 2005. 304 с.

124. Воробейчик Е.А., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1984. 280 с.

125. Гелашвили Д.Б., Лисовенко А.В., Зазнобина Н.И., Королев А.А. Применение обобщенной функции желательности для оценки экологической обстановки на объектах разного масштаба: город, регион. *Проблемы региональной экологии*. 2009. № 2. С. 83 – 87.

126. Harington J. The Desirability Function. *Industrial Quality Control*. 1965. Vol. 21, No 10. P. 494–498.

127. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок: 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Статистика, 1980. С.262.

128. Мартемьянов Ю.Ф., Лазарева Т.Я. Экспертные методы принятия решений : учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. 80 с.

129. Проников А.С. Надежность машин. Москва: Машиностроение, 1978. 592 с.

130. Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В., Саржанов А.А., Павлов О.Г., Волошко Т.П., Саржанов Б.О. Восстановления поверхности стальных и чугунных деталей применением комбинированной технологии электроэрозионного легирования и армированных металлополимерных покрытий. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів"*. Суми, 2017. Вип. 10 (32). С. 3-11.

131. Тарельник В.Б., Саржанов О.А., Соларьов О.О., Саржанов Б.О. Екологічно безпечна технологія збільшення експлуатаційного періоду зернової дробарки. *Компресорне і енергетичне машинобудування*. Суми, 2018. Вип. 4(54). С. 23-28.

132. Тарельник В.Б., Саржанов Б.А. Экологически безопасный способ восстановления и одновременного упрочнения стальных деталей, изготовленных из металлических листов. *Вісник Національного технічного університету "ХП"*. Серія «Технології в машинобудуванні». Харків, 2019. № 19 (1344). С. 16-21.

133. Саржанов Б.О. Новый способ підвищення якості покриттів при відновленні деталей методом електроерозійного легування. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2019. Вип. 68. С. 96-102.

134. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Саржанов Б.О. Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування графітовим електродом. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Серія «Технологія захисту довкілля»*. Івано-Франківськ, 2019. Вип. 19(2). С. 118-126.

135. Тарельник В.Б., Саржанов Б.О., Гапон О.О. Новый способ відновлення і зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються в процесі експлуатації абразивному зносу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. Суми, 2019. Вип. 1-2 (35-36). С. 18-24.

136. Саржанов Б.О. Обґрунтування вибору технології формування захисних покриттів робочих поверхонь шнеків машин, що працюють в агресивних середовищах. *Технології XXI сторіччя: зб. тез за матеріалами 25-ої міжнародної науково-практичної конференції м. Суми, 15-20 вер. 2019 р.* Суми: СНАУ, 2019. Ч.3. С. 101-107.

137. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Лобода В.Б., Коноплянченко Е.В., Марцинковский В.С., Семирненко Ю.И., Тарельник Н.В., Микулина М.А., Саржанов Б.А. Повышение экологической безопасности формирования износостойких покрытий на поверхностях деталей типа тел вращения из стали 12X18H10T с применением комбинированной технологии на основе электроискрового легирования. *Электронная обработка материалов*, 2020. Том 56 (5). С. 115-127.

138. Tarellyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., Gerasimenko V., Sarzhanov B. Improvement of integrated technology for restoring surfaces of steel and iron parts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 233. doi:10.1088/1757-899X/233/1/012050

139. Martsynkovskyy V. et al. New Process for Forming Multicomponent Wear-Resistant Nanostructures by Electrospark Alloying Method. Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings. *Springer Proceedings in Physics*. 2019. Vol 240. P. 135-149. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_13

140. Tarellyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Sarzhanov B. Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol 864. P. 265–277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>

141. Tarellyk V., Gaponova O., Myslyvchenko O. et al. Electrospark Deposition of Multilayer Coatings. *Powder Metall Met Ceram*. 2020. Vol. 59. P. 76–88. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00140-x>

142. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O. et al. Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metall Met Ceram.* 2020. Vol 58. P. 703–713. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>

143. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Павлов О.Г., Саржанов Б.О. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей. пат. 117980 Україна (на 20 р.). № а201703450; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл.№ 20.

144. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Павлов О.Г., Саржанов Б.О. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей. пат. 118892 Україна. № u201703446; заявл. 10.04.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл.№ 16.

145. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Павлов О.Г., Саржанов Б.О., Антошевський Б. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі. пат. 121614 Україна (на 20 р.). № u201809310; заявл. 12.09.2018; опубл. 25.06.2020, Бюл.№ 12.

146. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Павлов О.Г., Саржанов Б.О., Антошевський Б. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі. пат. 131805 Україна. № u201809307; заявл. 12.09.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл.№ 2.

147. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Антошевський Б. Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей. пат. 136895 Україна. № u201903328; заявл. 02.04.2019; опубл. 19.09.2019, Бюл.№ 17.

148. Саржанов Б.О. Спосіб підвищення якості відновлених покриттів металевих деталей методом електроерозійного легування. пат. 138052 Україна. № u201909758; заявл. 12.09.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл.№ 21.

149. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Белоус А.В., Саржанов О.А., Гапон О.О., Саржанов Б.О., Прокопенко А.О. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації. пат. 140467 Україна. № u201909103; заявл. 02.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл.№ 4.

150. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Белоус А.В., Саржанов О.А., Гапон О.О., Саржанов Б.О., Прокопенко А.О. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації. пат. 140468 Україна. № u201909105; заявл. 02.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл.№ 4.

151. Тарельник В.Б., Саржанов О.А., Саржанов Б.О., Гапон О.О. Спосіб підвищення зносостійкості поверхонь деталей машин способом електроіскрового легування. пат. 141006 Україна. № u201904191; заявл. 25.03.2020; опубл. 25.03.2020, Бюл.№ 6.

152. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д., Гапон О.О. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей. пат. 141919 Україна. № u201912304; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020, Бюл.№ 8.

153. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д., Гапон О.О. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей. пат. 141920 Україна. № u201912307; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020, Бюл.№ 8.

154. Тарельник В.Б., Саржанов О.А., Гапон О.О., Саржанов Б.О., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В. Спосіб екологічного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування сталевих поверхонь графіновим електродом. пат. 141992 Україна. № u201909725; заявл. 10.09.2019; опубл. 12.05.2020, Бюл.№ 9.

155. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Саржанов Б.О., Пирогов В.О., Лазаренко А.Д., Гапон О.О. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях. пат. 142338 Україна. № u20200019; заявл. 25.05.2020; опубл. 25.05.2020, Бюл.№ 10.

156. Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Тарельник Н.В., Коноплянченко Е.В., Саржанов А.А., Саржанов Б.А., Антошевский Б. Способ повышения износостойкости стальных деталей. пат. 2711074 Российская Федерация. № 2019111032; заявл. 11.04.2019; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.

157. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Белоус А.В., Саржанов А.А., Гапонова О.П., Саржанов Б.А. Способ восстановления и одновременного упрочнения деталей из листовой стали, подвергаемых абразивному износу в процессе эксплуатации (варианты). пат. 2718599 Российская Федерация, № 2019127222; заявл. 27.08.2019; опубл. 08.04.2020, Бюл. №10.

158. Тарельник В.Б., Марцинковский В.С., Павлов А.Г., Саржанов Б.А. Способ восстановления изношенных поверхностей металлических деталей. пат. 2671030 Российская Федерация. № 2017113046; заявл. 14.04.2017; опубл. 15.10.2018, Бюл. № 29.

159. Марцинковский В.С., Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Тарельник Н.В., Коноплянченко Е.В., Павлов А.Г., Саржанов Б.А., Антошевский Б. Способ восстановления изношенных поверхностей деталей машин из нержавеющей стали. пат. 2698001 Российская Федерация. № 2018134067; заявл. 26.09.2018; опубл. 21.08.2019, Бюл. № 24.

160. Тарельник В.Б., Павлов А.Г., Саржанов Б.А. Новый метод восстановления поверхностей стальных и чугунных деталей (Часть 1). *Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих*

технологіях: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф., м. Суми, 22-26 травня 2017р. Суми, 2017. С. 101-106.

161. Тарельник В.Б., Павлов А.Г., Саржанов Б.А. Новый метод восстановления поверхностей стальных и чугунных деталей (Часть 2). *Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях*: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф., м. Суми, 22-26 травня 2017р. Суми, 2017. С. 106-110.

162. Тарельник В.Б., Саржанов Б.А. Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом цементації електроерозійним легуванням графітовим електродом. *Матеріали для роботи в екстремальних умовах*: матеріали міжнар. наук. конф. м.Київ 18-19 грудня 2019р. Київ. 2019. С. 52-55.

163. Масс-спектрометры типа МХ-7304. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Книга 3. Сумы: АО "SELMI", 1984. 50 с.

164. Каталоги мас-спектрів. URL: <https://www.interanalyt.ru/equipment/mass-spectrometry/chromato-mass-spectrometers-shimadzu/item/338-biblioteki-mass-spektrov>

165. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды. Москва: Техносфера, 2013. 632 с.

166. Другов Ю.С., Березкин В.Г. Газохроматографический анализ загрязнённого воздуха. Москва: Химия, 1981. 256 с.

167. URL : <http://rodak.if.ua/mot/index.htm>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Саржанов О.А., **Саржанов Б.О.** Аналіз методів ремонту відповідальних деталей центрифуг для стічних вод // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2016. Вип. 10(3). С. 58-62.

2. Тарельник В.Б., Коноплянченко Е.В., Саржанов А.А., Павлов О.Г., Волошко Т.П., **Саржанов Б.О.** Восстановления поверхности стальных и чугунных деталей применением комбинированной технологии электроэрозионного легирования и армированных металлополимерных покрытий // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". 2017. Вип. 10 (32). С. 3-11.

3. Тарельник В.Б., Саржанов О.А., Соларьов О.О., **Саржанов Б.О.** Екологічно безпечна технологія збільшення експлуатаційного періоду зернової дробарки // Компресорне і енергетичне машинобудування. 2018. Вип. 4(54). С. 23-28.

4. Тарельник В.Б., **Саржанов Б.А.** Экологически безопасный способ восстановления и одновременного упрочнения стальных деталей, изготовленных из металлических листов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія «Технології в машинобудуванні». 2019. № 19 (1344). С. 16-21.

5. **Саржанов Б.О.** Новий спосіб підвищення якості покриттів при відновленні деталей методом електроерозійного легування // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2019. Вип. 68. С. 96-102.

6. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., **Саржанов Б.О.** Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування графітовим електродом // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Серія «Технологія захисту довкілля». 2019. Вип. 19(2). С. 118-126.

7. Тарельник В.Б., **Саржанов Б.О.**, Гапон О.О. Новий спосіб відновлення і зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються в процесі експлуатації абразивному зносу // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2019. Вип. 1-2 (35-36). С. 18-24.

8. Тарельник В.Б., Гапонова О.П., Лобода В.Б., Коноплянченко Е.В., Марцинковский В.С., Семирненко Ю.И., Тарельник Н.В., Микулина М.А., **Саржанов Б.А.** Повышение экологической безопасности формирования износостойких покрытий на поверхностях деталей типа тел вращения из стали 12X18H10T с применением комбинированной технологии на основе электроискрового легирования // Электронная обработка материалов, 2020. Том 56 (5). С. 115-127.

9. Tarelnyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., Gerasimenko V., **Sarzhanov B.** Improvement of integrated technology for restoring surfaces of steel and

iron parts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. –Vol. 233. doi:10.1088/1757-899X/233/1/012050

10. Martsynkovskyy V., Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Antoszewski B., Kundera C., Dyadyura K., Tarelynyk N., **Sarzhанov B.**, Mikulina M., Gapon O., Semernya O. New Process for Forming Multicomponent Wear-Resistant Nanostructures by Electrospark Alloying Method. Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings. Springer Proceedings in Physics. 2019. vol 240. p. 135-149 https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_13

11. Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., **Sarzhанov B.** Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. Key Engineering Materials. 2020. vol 864, p. 265–277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>

12. Tarelynyk V., Gaponova O., Myslyvchenko O., **Sarzhанov B.** Electrospark Deposition of Multilayer Coatings. Powder Metall Met Ceram. 2020. vol 59, p. 76–88. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00140-x>

13. Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Tarelynyk N., Martsynkovskyy V., **Sarzhанov B.**, Sarzhанov O., Antoszewski B. Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. Powder Metall Met Ceram. 2020. vol 58, p. 703–713. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>

14. Пат. України (на 20 р.) 117980 Україна, В23Н 1/00, В23Н 5/02, В23Н 5/04, В23Р 6/00, С23С 28/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**; № u201703450; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.10.2018, Бюл.№ 20.

15. Пат. на корисну модель 118892 Україна, В23Н 5/02, С23С 26/00, С23С 28/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**; № u201703446 ; заявл. 10.04.2017 ; опубл. 28.08.2017, Бюл.№ 16.

16. Пат. України (на 20 р.) 121614 Україна, В23Н 5/02, С23С 28/00, В23Р 6/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**, Б. Антошевський; № u201809310 ; заявл. 12.09.2018 ; опубл. 25.06.2020, Бюл.№ 12.

17. Пат. на корисну модель 131805 Україна, В23Н 5/02, В23Р 6/00, С23С 28/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, О.Г. Павлов, **Б.О. Саржанов**, Б. Антошевський; № u201809307 ; заявл. 12.09.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл.№ 2.

18. Пат. на корисну модель 136895 Україна, В23Н 9/00, С23С 8/60, С23С 10/48. Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, Б. Антошевський; № u201903328 ; заявл. 02.04.2019; опубл. 19.09.2019, Бюл.№ 17.

19. Пат. на корисну модель 138052 Україні, В23Р 6/00, В23Н 1/00, С23С 28/00. Спосіб підвищення якості відновлених покриттів металевих деталей методом

електроерозійного легування / **Б.О. Саржанов**; № u201909758 ; заявл. 12.09.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл.№ 21.

20. Пат. на корисну модель 140467 Україна, В23Р 6/00, В23К 9/04, В23Н 5/00, В23Н 5/02. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, А.В. Белоус, О.А. Саржанов, О.О. Гапон, **Б.О. Саржанов**, А.О. Прокопенко; № u201909103 ; заявл.02.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл.№ 4.

21. Пат. на корисну модель 140468 Україна, В23Р 6/00, В23К 9/04, В23Н 5/00, В23Н 5/02. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, А.В. Белоус, О.А. Саржанов, О.О. Гапон, **Б.О. Саржанов**, А.О. Прокопенко; № u201909105 ; заявл.02.08.2019; опубл. 25.02.2020, Бюл.№ 4.

22. Пат. на корисну модель 141006 Україна, В23Н 5/00. Спосіб підвищення зносостійкості поверхонь деталей машин способом електроіскрового легування / В.Б. Тарельник, О.А. Саржанов, **Б.О. Саржанов**, О.О. Гапон; № u201904191 ; заявл. 25.03.2020; опубл. 25.03.2020, Бюл.№ 6.

23. Пат. на корисну модель 141919 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, В.О. Пирогов, А.Д. Лазаренко, О.О. Гапон; № u201912304; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020, Бюл.№ 8.

24. Пат. на корисну модель 141920 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, В.О. Пирогов, А.Д. Лазаренко, О.О. Гапон; № u201912307 ; заявл. 27.12.2019; опубл. 27.04.2020, Бюл.№ 8.

25. Пат. на корисну модель 141992 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб екологічного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування сталевих поверхонь графіновим електродом / В.Б. Тарельник, О.А. Саржанов, О.О. Гапон, **Б.О. Саржанов**, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко; № u201909725 ; заявл.10.09.2019; опубл. 12.05.2020, Бюл.№ 9.

26. Пат. на корисну модель 142338 Україна, В23Н 5/00, В23Н 9/00. Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Н.В. Тарельник, **Б.О. Саржанов**, В.О. Пирогов, А.Д. Лазаренко, О.О. Гапон; № u20200019; заявл. 25.05.2020; опубл. 25.05.2020, Бюл.№ 10.

27. Патент 2711074 Российская Федерация, В23Н 9/00, С23С 28/00. Способ повышения износостойкости стальных деталей / В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, О.П. Гапонова, Н.В. Тарельник, Е.В. Коноплянченко, А.А. Саржанов, **Б.А. Саржанов**, Б. Антошевский; № 2019111032 ; заявл. 11.04.2019; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.

28. Патент 2718599 Российская Федерация, В23Р 6/00, С21D 1/38. Способ восстановления и одновременного упрочнения деталей из листовой стали, подвергаемых абразивному износу в процессе эксплуатации (варианты) / В.Б.

Тарельник, В.С. Марцинковский, А.В. Белоус, А.А. Саржанов, А.А. Гапонова, **Б.А. Саржанов**; пат. № 2019127222 ; заявл. 27.08.2019; опубл. 08.04.2020, Бюл. №10.

29. Патент 2671030 Российская Федерация, В23Р 6/00, В23Н 9/00. Способ восстановления изношенных поверхностей металлических деталей / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковский, А.Г. Павлов, **Б.А. Саржанов**; № 2017113046 ; заявл. 14.04.2017; опубл. 15.10.2018, Бюл. № 29.

30. Патент 2698001 Российская Федерация, В23Р 6/00, В23Н 5/02. Способ восстановления изношенных поверхностей деталей машин из нержавеющей стали / В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, О.П. Гапонова, Н.В. Тарельник, Е.В. Коноплянченко, А.Г. Павлов, **Б.А. Саржанов**, Б. Антошевский; № 2018134067 ; заявл. 26.09.2018; опубл. 21.08.2019, Бюл. № 24.

31. Тарельник В.Б., Павлов А.Г., **Саржанов Б.А.** Новый метод восстановления поверхности стальных и чугунных деталей (Часть 1) / Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях» (22-26 травня 2017, м. Суми). Суми. 2017. С. 101-106.

32. Тарельник В.Б., Павлов А.Г., **Саржанов Б.А.** Новый метод восстановления поверхности стальных и чугунных деталей (Часть 2) / Матеріали ІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво. Індустрія 4.0. Сучасний напрямок автоматизації та обміну даними у виробничих технологіях» (22-26 травня 2017, м. Суми). Суми. 2017. С. 106-110.

33. Тарельник В.Б., **Саржанов Б.А.** Спосіб екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом цементації електроерозійним легуванням графітовим електродом / Матеріали міжнародної наук. конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах» (18-19 грудня 2019, м. Київ). Київ. 2019. С. 52-55.

34. **Саржанов Б.О.** Обґрунтування вибору технології формування захисних покриттів робочих поверхонь шнеків машин, що працюють в агресивних середовищах// Технології ХХІ сторіччя: Збірник тез за матеріалами 25-ої міжнародної науково-практичної конференції (15-20 вересня 2019 р.). Ч.3. – Суми: СНАУ, 2019 – С. 101-107.

ДОДАТОК Б. Документи про охорону прав на винаходи та корисні моделі
за темою дисертації



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117980** (13) **C2**

(51) МПК (2018.01)

B23H 1/00**B23H 5/02** (2006.01)**B23H 5/04** (2006.01)**B23P 6/00****C23C 28/00**

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2017 03450</p> <p>(22) Дата подання заявки: 10.04.2017</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.10.2018</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 10.10.2018, Бюл.№ 19</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2018, Бюл.№ 20</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Павлов Олександр Григорович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 104664 C2, 25.02.2014 RU 2172234 C1, 20.08.2001 RU 2443801 C1, 27.02.2012 RU 2304185 C1, 10.08.2007 RU 2272955 C2, 27.03.2006 US 2006065546 A1, 30.03.2006 US 2016017450 A1, 21.01.2016 JP WO2004111303 A1, 20.07.2006</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

UA 117980 C2

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Винахід належить до області електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроерозійного легування, і може бути застосований для ремонту деталей машин. Відповідно до запропонованого способу на зношену поверхню деталі наносять покриття електроерозійним легуванням за допомогою металевого електрода на режимах, що забезпечують задану шорсткість поверхні покриття і визначаються енергією розряду. Потім отриману поверхню покривають принаймні одним шаром металополімерного матеріалу (МПМ), забезпечують полімеризацію принаймні одного нанесеного шару МПМ, після чого його піддають фінішній обробці. При цьому при нанесенні шару МПМ його армують принаймні одним шаром дроту, причому спочатку забезпечують таку товщину нанесеного МПМ, при якій рівень занурення армувального дроту в ньому відповідає принаймні половині діаметра дроту, який формує принаймні один армувальний шар, а далі, не чекаючи застигання МПМ, нанесеного до занурення в нього армувального дроту, продовжують наносити принаймні один шар МПМ доти, поки повністю не покриють принаймні один шар армувального дроту. Застосована інтегрована технологія, що включає в себе метод електроерозійного легування з подальшим нанесенням армованого дротом МПМ, у результаті забезпечує сформований поверхневий шар з підвищеною, якістю, зносостійкістю, надійністю та довговічністю.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 118892 (13) U

(51) МПК (2017.01)
B23H 5/02 (2006.01)
C23C 26/00
C23C 28/00МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: u 2017 03446	(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Павлов Олександр Григорович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 10.04.2017	(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 28.08.2017	(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 28.08.2017, Бюл.№ 16	

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей, при якому на зношену поверхню деталі наносять покриття електроерозійним легуванням (ЕЕЛ) металевим електродом на режимах, що забезпечують задану шорсткість поверхні покриття і визначаються енергією розряду, далі отриману поверхню покривають принаймні одним шаром металополімерного матеріалу (МПМ), забезпечують полімеризацію принаймні одного нанесеного шару МПМ, після чого завершальний шар МПМ піддають фінішній обробці. Нанесений шар МПМ перед полімеризацією армують принаймні одним шаром дроту, при цьому забезпечують таку товщину нанесеного МПМ, при якій рівень занурення армувального дроту принаймні в один шар МПМ відповідає принаймні половині діаметра дроту, який формує принаймні один армувальний шар, далі, не чекаючи застигання МПМ, нанесеного до занурення в нього армувального дроту, продовжують наносити принаймні один шар МПМ до тих пір, поки повністю не покриють принаймні один шар армувального дроту.



Фіг. 1

UA 118892 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **121614** (13) **C2**
 (51) МПК (2020.01)
B23H 5/02 (2006.01)
C23C 28/00
B23P 6/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2018 09310</p> <p>(22) Дата подання заявки: 12.09.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.06.2020</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 25.03.2020, Бюл.№ 6</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2020, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталья В'ячеславівна (UA), Павлов Олександр Григорович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Антошевський Богдан (PL)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 118892 U, 28.08.2017 RU 2016145732 A, 23.05.2018 RU 2304185 C1, 10.08.2007 US 5114548 A, 19.05.1992 US 2016017450 A1, 21.01.2016</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

UA 121614 C2

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ**(57) Реферат:**

Технічне рішення належить до області електрофізичної та електрохімічної обробки, зокрема до електроерозійного легування, і може бути використано для ремонту деталей машин.

У заявленому способі відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі, наприклад 12Х18Н10Т, що включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття електроерозійним легуванням (ЕЕЛ) електродом твердого сплаву Т15К6 з використанням енергії розряду спочатку $W_p=0,55$ Дж, а потім $W_p=0,90$ Дж, нанесення на отриману поверхню армованого металополімерного матеріалу (МПМ), забезпечення його полімеризації і остаточну механічну обробку, перед полімеризацією МПМ армують металевим порошком твердого сплаву ВК8, а після полімеризації шару, армованого МПМ, перед завершальною механічною обробкою, виконують його лазерну обробку. Застосована інтегрована технологія, що включає в себе метод електроерозійного легування з подальшим нанесенням шару МПМ, армованого металевим порошком, наприклад, з твердого сплаву ВК8, і його обробку лазером.

В результаті, формується поверхневий шар, якість, зносостійкість, надійність і довговічність якого вище, ніж при відновленні деталей існуючими способами ЕЕЛ з нанесенням МПМ.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131805** (13) **U**

(51) МПК (2018.01)
B23H 5/02 (2006.01)
B23P 6/00
C23C 28/00

МІНІСТЕРСТВО
 ЕКОНОМІЧНОГО
 РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2018 09307</p> <p>(22) Дата подання заявки: 12.09.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.01.2019</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.01.2019, Бюл.№ 2</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Павлов Олександр Григорович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Антошевський Богдан (PL)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ**(57) Реферат:**

Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття електроерозійним легуванням (ЕЕЛ) електродом твердого сплаву Т15К6 із застосуванням енергії розряду спочатку $W_p=0,55$ Дж, потім $W_p=0,90$ Дж, нанесення на отриману поверхню армованого металополімерного матеріалу (МПМ), забезпечення його полімеризації і завершальну механічну обробку. Перед полімеризацією МПМ армують металевим порошком твердого сплаву ВК8. Після полімеризації шару армованого МПМ перед завершальною механічною обробкою виконують його лазерну обробку.

UA 131805 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **136895** (13) **U**
 (51) МПК (2019.01)
B23H 9/00
C23C 8/60 (2006.01)
C23C 10/48 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 03328</p> <p>(22) Дата подання заявки: 02.04.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.09.2019</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.09.2019, Бюл.№ 17</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Павлівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталья В'ячеславівна (UA), Саржанов Олександр Анатолійович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Антошевський Богдан (PL)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

(57) Реферат:

Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей методом електроерозійного легування їх поверхневого шару включає цементацію графітовим електродом, алітування алюмінієвим електродом і нанесення зносостійкого покриття. На алітовану поверхню наносять зносостійке покриття електродом-інструментом, виготовленим з матеріалу, вибраного з групи тугоплавких металів Ti, V, W і їх карбідів, при цьому всі наступні операції у межах кожного етапу виконують при одній і тій же енергії розряду в діапазоні від 0, 5 до 3,4 Дж. На всіх етапах обробки зони підвищеної твердості забезпечують підвищенням енергії розряду. Обробку проводять у відкритому середовищі і при атмосферному тиску.

UA 136895 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **138052** (13) **U**
 (51) МПК (2019.01)
B23P 6/00
B23H 1/00
C23C 28/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2019 09758	(72) Винахідник(и): Саржанов Богдан Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки: 12.09.2019	(73) Власник(и): Саржанов Богдан Олександрович, вул. Герасима Кондратьєва, буд. 129, кв. 149, м. Суми, 40021 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.11.2019	(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.11.2019, Бюл.№ 21	

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ПОКРИТЬ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ЛЕГУВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб підвищення якості відновлених покриттів металевих деталей включає нанесення покриття на зношену поверхню деталі методом електроерозійного легування (ЕЕЛ). Покриття наносять принаймні в два етапи, при нанесенні покриття на металеві поверхні металевим електродом на першому етапі наносять шар з енергією розряду 0,13-0,55 Дж і продуктивністю 1,5-2,5 см²/хв., які забезпечують товщину поверхні 0,08-0,81 мм при її суцільності 100 %. Потім на отриману поверхню наносять шар покриття тим же електродом і з енергією розряду 0,55-0,90 Дж і продуктивністю 2,5-3,4 см²/хв.

UA 138052 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140467** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23P 6/00**B23K 9/04** (2006.01)**B23H 5/00****B23H 5/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 09103</p> <p>(22) Дата подання заявки: 02.08.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.02.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2020, Бюл.№ 4</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Белоус Андрій Валерійович (UA), Саржанов Олександр Анатолійович (UA), Галон Олександр Олександрович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Прокопенко Андрій Олексійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ І ОДНОЧАСНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ, ЩО ПІДДАЮТЬСЯ АБРАЗИВНОМУ ЗНОСУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

(57) Реферат:

Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддають абразивному зносу в процесі експлуатації включає видалення зношеної частини деталі і заміну її окремим сегментом, також виготовленим з листового матеріалу і приєднаним до відновлюваної деталі нероз'ємним з'єднанням. Забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним пазом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним шипом. Зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом електроерозійного легування до досягнення заданої твердості сегмента, а перед створенням нероз'ємного з'єднання відновлюваної деталі і сегмента поверхні, що сполучаються, покривають металополімерним матеріалом.

UA 140467 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140468** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23P 6/00**B23K 9/04** (2006.01)**B23H 5/00****B23H 5/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 09105</p> <p>(22) Дата подання заявки: 02.08.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.02.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2020, Бюл.№ 4</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Белоус Андрій Валерійович (UA), Саржанов Олександр Анатолійович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Прокопенко Андрій Олексійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ І ОДНОЧАСНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ, ЩО ПІДДАЮТЬСЯ АБРАЗИВНОМУ ЗНОСУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**(57) Реферат:**

Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації включає видалення зношеної частини деталі і заміну її окремим сегментом, також виготовленим з листового матеріалу і приєднаним до відновлюваної деталі нероз'ємним з'єднанням. Забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним шипом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним пазом. Зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом електроерозійного легування до досягнення заданої твердості сегмента, а перед створенням нероз'ємного з'єднання відновлюваної деталі і сегмента поверхні, що сполучаються покривають металополімерним матеріалом.

UA 140468 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141006** (13) **U**
 (51) МПК (2020.01)
B23H 5/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2019 04191	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: 19.04.2019	Тарельник Вячеслав Борисович (UA),
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.03.2020	Саржанов Олександр Анатолійович (UA),
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.03.2020, Бюл.№ 6	Саржанов Богдан Олександрович (UA),
	Гапон Олександр Олександрович (UA)
	(73) Власник(и): СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Г. Кондратьєва, 160, м. Суми, 40021 (UA)

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І ТВЕРДОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СПОСОБОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб підвищення зносостійкості і твердості поверхонь деталей машин включає нанесення способом електроіскрового легування на більш наближених поверхнях молотка та гребінки (деки) покриття з зносостійких матеріалів.

UA 141006 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141919** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23H 5/00**B23H 9/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2019 12304**
 (22) Дата подання заявки: **27.12.2019**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **27.04.2020**
 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: **27.04.2020, Бюл.№ 8**

(72) Винахідник(и):
Тарельник В'ячеслав Борисович (UA),
Марцинковський Василь Сігізмундович (UA),
Гапонова Оксана Петрівна (UA),
Коноплянченко Євген Владиславович (UA),
Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA),
Саржанов Богдан Олександрович (UA),
Пирогов Віктор Олександрович (UA),
Лазаренко Андрій Дмитрович (UA),
Гапон Олександр Олександрович (UA)

(73) Власник(и):
Марцинковський Василь Сігізмундович,
 вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)

(74) Представник:
Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ЗНОШУВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей включає підготовку поверхні деталі, нанесення на неї комбінованого електроіскрового покриття, поверхнево-пластичну деформацію отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу. Перед нанесенням комбінованого електроіскрового покриття поверхню деталі шліфують до Ra=0,5 мкм. При формуванні комбінованого електроіскрового покриття спочатку проводять цементацію шліфованої поверхні деталі методом електроіскрового легування. Після виконують алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву T15K6. Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою. Після полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком твердосплавної суміші BK6, частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву T15K6.

UA 141919 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141920** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23H 5/00**B23H 9/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 12307</p> <p>(22) Дата подання заявки: 27.12.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 27.04.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.04.2020, Бюл.№ 8</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ЗНОШУВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей включає підготовку поверхні деталі, нанесення на неї зносостійких товстошарових комбінованих електроіскрових покриттів, поверхнево-пластичну деформацію отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу, армованого при полімеризації порошком твердосплавної суміші ВК6. Перед нанесенням комбінованого електроіскрового покриття поверхню деталі шліфують до Ra=0,5 мкм, при формуванні комбінованого електроіскрового покриття спочатку на нержавіючу сталь 12X18H10T наносять електроіскрове покриття електродом-інструментом зі сталі 08X15H5D2T, потім проводять цементацію отриманого покриття методом електроіскрового легування, після чого виконують алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву Т15К6, далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою, а після полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком ВК6, частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6.

UA 141920 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141992** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23P 6/00**B23K 9/04** (2006.01)**B23H 5/00****B23H 5/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 09725</p> <p>(22) Дата подання заявки: 10.09.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.05.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.05.2020, Бюл.№ 9</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Саржанов Олександр Анатолійович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ЛЕГУВАННЯ СТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ГРАФІТОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ**(57) Реферат:**

Корисна модель належить до галузі машинобудування і ремонту машин, зокрема до екологічно безпечного відновлення і одночасного зміцнення методом електроерозійного легування графітовим електродом (ЦЕЕЛ) деталей, виготовлених з листової сталі.

У способі екологічно безпечного зміцнення деталей з листової сталі методом електроерозійного легування сталевих поверхонь графітовим електродом принаймні у два етапи, що включають гартування і відпуск, на першому етапі здійснюють нагрівання сталевих деталей до температури гартування сталі, з якої вона виготовлена, з подальшим охолодженням на повітрі або у маслі, а на другому етапі виконують нагрівання обробленої на першому етапі деталі до температури відпуску з подальшим охолодженням на повітрі, при цьому для досягнення температури гартування і відпуску при ЦЕЕЛ поверхонь деталей з листової сталі товщиною від 1,0 до 10 мм застосовують енергію розряду 4,6-6,8 Дж і продуктивність 0,2-3,0 см²/хв.

Значне (на порядок) зниження витрат електроенергії та часу на термообробку, відсутність повідець і викривлення, а отже і необхідності додаткової механічної обробки для усунення відхилень форми заготовки після термообробки, застосування простого і екологічно чистого обладнання.

UA 141992 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142338** (13) **U**

(51) МПК (2020.01)

B23H 5/00**B23H 9/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2020 00190</p> <p>(22) Дата подання заявки: 11.01.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.05.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.05.2020, Бюл.№ 10</p>	<p>(72) Винахідник(и): Тарельник В'ячеслав Борисович (UA), Марцинковський Василь Сігізмундович (UA), Гапонова Оксана Петрівна (UA), Коноплянченко Євген Владиславович (UA), Тарельник Наталія В'ячеславівна (UA), Саржанов Богдан Олександрович (UA), Пирогов Віктор Олександрович (UA), Лазаренко Андрій Дмитрович (UA), Гапон Олександр Олександрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Марцинковський Василь Сігізмундович, вул. Березова, буд. 2, сел. Сад, Сумський р-н, Сумська обл., 42343 (UA)</p> <p>(74) Представник: Лісна Тетяна Леонідівна, реєстр. №286</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ З КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ПОКРИТТЯМ НА ЗНОШУВАЛЬНИХ ПЛОСКИХ І КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХНЯХ**(57) Реферат:**

Спосіб виготовлення деталей з нержавіючої сталі з комбінованим електроіскровим покриттям на зношувальних плоских і криволінійних поверхнях включає цементацію поверхні порожнистої заготовки методом електроіскрового легування, алітування цементованого шару методом електроіскрового легування алюмінієвим електродом і нанесення методом електроіскрового легування покриття електродом з твердого сплаву. Поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою, потім від порожнистої заготовки відрізають кільце з нанесеним покриттям, а відрізане кільце розрізають на окремі сегменти, далі розгинають їх за допомогою преса до заданих розмірів, здійснюючи остаточну обробку покриття сегментів методом пластичної деформації.

UA 142338 U

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 671 030**⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl.
B23P 6/00 (2006.01)
B23H 9/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B23P 6/00 (2006.01); *B23H 9/00* (2006.01)

(21)(22) Application: 2017113046, 14.04.2017

(24) Effective date for property rights:
14.04.2017

Registration date:
29.10.2018

Priority:
(22) Date of filing: 14.04.2017

(43) Application published: 15.10.2018 Bull. № 29

(45) Date of publication: 29.10.2018 Bull. № 31

Mail address:
04050, Ukraine, g. Kiev, ul. Gertsena, 17-25, of. 1,
OOO "APP "Vepol"

(72) Inventor(s):
TARELNIK Vyacheslav Borisovich (UA),
MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA),
PAVLOV Oleksandr Grigorovich (UA),
SARZHANOV Bogdan Aleksandrovich (UA)

(73) Proprietor(s):
MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA)

(54) **METHOD OF RESTORATION OF WORN SURFACES OF METAL PARTS**

(57) Abstract:

FIELD: transport machine building.

SUBSTANCE: invention relates to electrophysical and electrochemical treatment, in particular to electroerosive alloying, and can be used for repairing machine parts. Method comprises applying coating with a surface roughness of 1 to 200 mcm to the worn surface of the part by electroerosive alloying with a metal electrode having a discharge energy of 0.036–6.8 J, on which the metal-polymeric material (MPM) is then applied, its polymerization is ensured and it is subjected to finish treatment, while the applied

MPM is reinforced before the polymerization with a wire and before it is solidified, the MPM is applied until the reinforcing wire is completely coated with it, while the MPM is initially applied in a thickness at which the level of immersion of the reinforcing wire in the MPM corresponds to at least half the diameter of the reinforcing wire.

EFFECT: invention provides improved adhesion and durability of the part to be restored.

11 cl, 10 dwg, 4 ex

RU 2 671 030 C 2

RU 2 671 030 C 2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 698 001** (13) **C1**(51) Int. Cl.
B23P 6/00 (2006.01)
B23H 5/02 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
B23P 6/00 (2019.05); *B23H 5/02* (2019.05)

(21)(22) Application: 2018134067, 26.09.2018

(24) Effective date for property rights:
26.09.2018Registration date:
21.08.2019Priority:
(22) Date of filing: 26.09.2018

(45) Date of publication: 21.08.2019 Bull. № 24

Mail address:
04050, Ukraina, g. Kiev, ul. Gertsena, 17-25, of. 1,
OOO "APP "Vepol"(72) Inventor(s):
MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA),
TARELNIK Vyacheslav Borisovich (UA),
GAPONOVA Oksana Petrovna (UA),
TARELNIK Nataliya Vyacheslavovna (UA),
KONOPLYANCHENKO Evgenij
Vladislavovich (UA),
PAVLOV Oleksandr Grigorovich (UA),
SARZHANOV Bogdan Aleksandrovich (UA),
ANTOSHEVSKIJ Bogdan (PL)(73) Proprietor(s):
MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA)(54) **METHOD OF RECONDITIONING WORN-OUT SURFACES OF PARTS OF MACHINES FROM STAINLESS STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: physics; chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to electrophysical and electrochemical treatment and can be used for repair of machine parts. Method involves application on worn-out surface of part of coating by electroerosion alloying (EEA) electrode from hard alloy T15K6 using energy of discharge initially $W_p = 0.55$ J, and then $W_p = 0.90$ J, applying reinforced metal-polymer material (MPM) onto obtained surface, providing its polymerisation and final mechanical processing. Prior to polymerisation MPM is reinforced with metal powder of hard alloy

BK8, and after polymerisation of layer of reinforced MPM prior to final machining, its laser treatment is performed.

EFFECT: invention enables to recover worn-out surfaces of parts of machines from stainless steel, particularly 12X18H10T, and provides formation of a surface layer, quality, wear resistance, reliability and durability of which is higher than when parts are restored by EEA methods with application of MPM.

4 cl, 25 dwg, 2 tbl

RU 2 698 001 C 1

RU 2 698 001 C 1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY(19) **RU** (11) **2 711 074**⁽¹³⁾ **C1**(51) Int. Cl.
B23H 9/00 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(52) CPC
B23H 9/00 (2019.08); *C23C 28/00* (2019.08)

(21)(22) Application: 2019111032, 11.04.2019

(24) Effective date for property rights:
11.04.2019Registration date:
15.01.2020Priority:
(22) Date of filing: 11.04.2019

(45) Date of publication: 15.01.2020 Bull. № 2

Mail address:
04050, Ukraina, g. Kiev, ul. Gertsena, 17-25, of. 1,
OOO "APP "Vepol"

(72) Inventor(s):

Bogdan Antoszewski (UA),
TARELNIK Vyacheslav Borisovich (UA),
GAPONOVA Oksana Petrovna (UA),
TARELNIK Nataliya Vyacheslavovna (UA),
KONOPLYANCHENKO Evgenij
Vladislavovich (UA),
SARZHANOV Aleksandr Anatolievich (UA),
SARZHANOV Bogdan Aleksandrovich (UA),
ANTOSHEVSKIJ Bogdan (PL)

(73) Proprietor(s):

MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA)(54) **METHOD OF INCREASING WEAR RESISTANCE OF STEEL PARTS**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to the field of electrophysical and electrochemical treatment, in particular to electric erosion alloying (EEA), and can be used for machining surfaces of machine parts and metal cutting tools. Method of steel parts processing by means of electro-erosion doping of their surface layer includes stages of cementation with graphite electrode, aluminizing with aluminum electrode and application of wear-resistant coating. Wear-resistant

coating is applied by means of electrode-tool made of material selected from group of refractory metals, including Ti, V, W and their carbides, at that all operations at each stage are performed at the same discharge energy in range from 0.5 to 3.4 J.

EFFECT: higher wear resistance of steel parts, reliability and durability of operation, as well as reduction of labor intensity and cost of their production.

3 cl, 14 dwg, 5 tbl

RU 2 711 074 C 1

RU 2 711 074 C 1

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 718 599**⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.
B23P 6/00 (2006.01)
C21D 1/38 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B23P 6/00 (2020.01); C21D 1/38 (2020.01)

(21)(22) Application: 2019127222, 27.08.2019

(24) Effective date for property rights:
27.08.2019

Registration date:
08.04.2020

Priority:
(22) Date of filing: 27.08.2019

(45) Date of publication: 08.04.2020 Bull. № 10

Mail address:
04050, Ukraina, g. Kiev, ul. Gertsena, 17-25, of. 1,
OOO "APP "Vepol"

(72) Inventor(s):

TARELNIK Vyacheslav Borisovich (UA),
MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA),
BELOUS Andrej Valerevich (UA),
SARZHANOV Aleksandr Anatolievich (UA),
GAPON Aleksandr Aleksandrovich (UA),
SARZHANOV Bogdan Aleksandrovich (UA)

(73) Proprietor(s):

MARTSINKOVSKIJ Vasilij Sigizmundovich
(UA)

(54) **METHOD OF REDUCTION AND SIMULTANEOUS HARDENING OF PARTS FROM SHEET STEEL
SUBJECTED TO ABRASIVE WEAR DURING OPERATION (VERSIONS)**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to a method of reduction and simultaneous hardening of parts made from sheet steel subject to various types of abrasive wear depending on conditions of external action. Proposed method comprises removal of worn-out part of part and its replacement with separate segment made of sheet material and its attachment to rest part by permanent joint. According to one of the versions of the method, a segment with a pre-made groove is provided, which is attached to the restored part provided with a pre-made tenon. Hardening is performed by electro-erosion alloying till achieving the specified hardness of the segment. Prior to manufacturing of

permanent connection of recovered part and segment of segment groove surface is coated with metal-polymer material. According to the second version, a segment with a pre-made tenon is provided, which is attached to the restored part provided with a previously made groove.

EFFECT: technical result is the absence of buckling, high hardness and wear resistance of reconditioned and hardened parts in conditions of intense abrasive wear, possibility of using wear-resistant metals as a reducing material with any degree of weldability, low power consumption and environmental safety.

18 cl, 22 dwg

RU 2 718 599 C 1

RU 2 718 599 C 1

ДОДАТОК В. Документи про впровадження результатів дисертаційної роботи

Затверджую:

Директор ПСП АФ «Соснівська»

В.П. Крухмаль В.П. Крухмаль

2020 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта СНАУ Саржанова Богдана Олександровича

Під час виконання робіт по договору № 31-8-3 від 31.08. 18 р. «Розробка технології формування прироблювальних покриттів бронзових підшипників ковзання» аспірантом Сумського національного аграрного університету Саржановим Б.О. проводився аналіз стану роликів та кулькових підшипників, що використовуються на підприємстві ПСП АФ «Соснівська» Конотопського району яке займається вирощуванням сільськогосподарських культур та розведенням ВРХ.

В результаті проведеного аналізу встановлено:

- підшипники, які працюють в важких умовах абразивного зношування, швидко виходять з ладу;
- основною причиною пошкоджень є знос посадкових поверхонь як на валах так і в отворах корпусів машин;
- знос робочих органів, що опираються на підшипники, приводе до дисбалансу, який дуже впливає на їх зношування (розбиваються посадкові отвори та зминаються посадкові шийки на валах).

В дисертаційній роботі Саржанова Б.О. розроблені екологічно й техногенно безпечні технології ремонту витків і посадкових місць під підшипники кочення шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типу ОГШ, які використовують для очищення води.

Так при ремонті гвинтових поверхонь шнека запропонований новий спосіб прикріплення сегментів на зношені ділянки, а при відновленні зношених посадкових поверхонь підшипників пропонується використовувати комбіновану технологію, яка полягає в електроіскровому легуванні зношених поверхонь з наступним нанесенням армованого металополімерного покриття, яке підвищує твердість і міцність сформованих поверхонь. Впроваджена технологія захищена низкою патентів на корисну модель, та на винаходів: патент UA на корисну модель 138052; 140467, 140468, 141919.

Впроваджені результати дисертаційної роботи Саржанова Б.О. будуть корисними для використання в умовах підприємства ПСП АФ «Соснівська».

Очікуваний економічний ефект від використання нової технології складає 47000 грн (сорок сім тисяч грн.).



Затверджую:

Директор ТОВ «Хлібодар»

С.М. Карпенко

23 " 07 2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта Сумського національного аграрного університету Саржанова Богдана Олександровича у ТОВ «Хлібодар» Сумського району

Під час виконання наукових досліджень в рамках дисертаційної роботи аспірантом Сумського НАУ Саржановим Б.О. проводився аналіз стану роликкових та кулькових підшипників, що використовуються на підприємстві ТОВ «Хлібодар» Сумського району яке займається вирощуванням сільськогосподарських культур та розведенням ВРХ.

На основі проведеного аналізу встановлено, що: - підшипники, які працюють в важких умовах абразивного зношування, швидко виходять з ладу; - основною причиною пошкоджень є знос посадкових поверхонь як на валах так і в отворах корпусів машин; - знос робочих органів, що опираються на підшипники, приведе до дисбалансу, який дуже впливає на їх зношування (розбиваються посадкові отвори та зминаються посадкові шийки на валах).

В дисертаційній роботі Саржанова Б.О. розроблені екологічно й техногенно безпечні технології ремонту витків і посадкових місць під підшипники кочення шнеків машин, задіяних в технологічному циклі видалення та утилізації гною в тваринницьких комплексах та шнеків центрифуг типа ОГШ, які використовують для очищення води.

Так при ремонті гвинтових поверхонь шнека запропонований новий спосіб прикріплення сегментів на зношені ділянки, а при відновленні зношених посадкових поверхонь підшипників пропонується використовувати комбіновану технологію, яка полягає в електроіскровому легуванні зношених поверхонь з наступним нанесенням армованого металополімерного покриття, яке підвищує твердість і міцність сформованих поверхонь. Впроваджена технологія захищена низкою патентів на корисну модель, та на винаходів: патент UA на корисну модель 138052; 140467, 140468, 141919.

Впроваджені результати дисертаційної роботи Саржанова Б.О. будуть корисними для застосування в умовах підприємства ТОВ «Хлібодар».

Очікуваний економічний ефект від використання нової технології складає 52000 грн (п'ятдесят дві тисячі гривень).

Начальник ремонтно експлуатаційного управління – Начальник відділу
головного механіка



А.В. Кулик

06 2020 р.

Акт

**впровадження результатів дисертаційної роботи
аспіранта СНАУ Саржанова Богдана Олександровича
на Комунальному підприємстві «Міськводоканал»
Сумської міської ради**

В умовах КП «Міськводоканал» Сумської міської ради була здійснена промислова апробація наукових результатів, отриманих аспірантом СНАУ Саржановим Богданом Олександровичем. А саме апробація розробленої екологічно-безпечної технології реновації відповідальних деталей відцентрових насосів, центрифуг та іншого технологічного обладнання, що використовується на КП «Міськводоканал», та яке працює з постійним навантаженням в важких умовах гідроабразивного та інших видів зношування.

Традиційно на КП «Міськводоканал» Сумської міської ради при ремонті центрифуг марки ОГШ-631К-02 на окремі сегменти з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т наносили зносостійкі покриття типу стеліт, які потім приварювали по шаблону до зношених гвинтових поверхонь шнеків (договір № 83/10 від 14.06.99р.). Зношені поверхні шийок шнека та ротора центрифуги відновлювали за допомогою комбінованих технологій електроерозійного легування з наступною поверхневою пластичною деформацією.

Запропонована аспірантом Саржановим Б.О. технологія реновації зношених поверхонь центрифуги екологічно та техногенно безпечна і полягає в механічному приєднанні до зношених поверхонь витків шнека окремих сегментів з зносостійкими покриттями, а при відновленні зношених поверхонь шийок шнека (діаметр по кресленню 130 мм, а фактично 128,5 мм) і ротора (діаметр по кресленню 170 мм, а фактично 169,2 мм) використовується комбінована технологія електроерозійного легування з наступним нанесенням металополімерних матеріалів (патенти на корисну модель: UA 117980, UA 136895, UA 131805).

Результати дисертаційної роботи аспіранта Саржанова Б.О. використовуються на КП «Міськводоканал» Сумської міської ради.

Очікуваний річний економічний ефект від використання, впровадженої технології складає 93000 грн (дев'яносто три тисячі гривень).

Вказаний економічний ефект наведений з метою економічного обґрунтування отриманих наукових результатів, та не є приводом для виплати матеріального заохочення.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи
Сумського національного
аграрного університету

Юрій ДАНЬКО

«20» березня 2020 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Саржанова Богдана Олександровича
на тему: «Розробка екологічно безпечних методів ремонту шнеків машин
технологічного циклу утилізації гною»
Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

Комісія у складі: завідувача кафедри технічного сервісу, д.т.н., проф. Тарельника В.Б. (голова комісії), доцента кафедри технічного сервісу к.т.н. Бондарева С.Г., старшого викладача кафедри технічного сервісу Думанчука М.Ю. склала цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи Саржанова Б.О. на тему: «Розробка екологічно безпечних методів ремонту шнеків машин технологічного циклу утилізації гною» впроваджені в навчальний процес кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Технологія машинобудування в галузі», «Ремонт машин», «Триботехнологія» і «Ремонт машин та обладнання», а також при виконанні магістерських робіт, курсових і дипломних проектів

Голова комісії:

В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК

Члени комісії:

Сергій БОНДАРЄВ

Михайло ДУМАНЧУК